

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041370**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.10.17

(51) Int. Cl. **C25D 5/18 (2006.01)**
C25D 21/12 (2006.01)

(21) Номер заявки
201990716

(22) Дата подачи заявки
2017.09.14

**(54) СИСТЕМА ДЛЯ НАДЕЖНОГО, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО
ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И СПОСОБ
ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С НЕЙ**

(31) **62/394,552**

(56) US-A1-2013075264
WO-A2-0233150
WO-A1-2007136387
US-A-5228967

(32) **2016.09.14**

(33) **US**

(43) **2019.10.31**

(86) **PCT/US2017/051606**

(87) **WO 2018/053158 2018.03.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
МОДЬЮМЕТАЛ, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Коллинсон Лесли Энн, Кокс Джон
Томас, Патри Шеймус Ф. (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Варианты осуществления настоящего изобретения включают систему для осаждения многослойного наноламинатного сплава, содержащую контроллер для процесса электроосаждения, который включает в себя схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала, соответствующего сигналу электроосаждения, выводимому из источника питания электроосаждения. Контроллер также включает в себя схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала. На основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с относящейся к процессу электроосаждения информацией схема управления синтезатором управляет генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала. Контроллер дополнительно включает в себя выходную схему контроллера, выполненную с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на вход источника питания электроосаждения.

041370 B1

041370 B1

Предпосылки изобретения

Область техники

Для осаждения многослойных наноламинатных покрытий на заготовку электрохимическими способами изготовления при относительно высоких скоростях или производительности требуются стабильные и точные генераторы электрического поля (например, генераторы сигналов заданной формы). В дополнение, варьирование состава и микроструктуры осажденных покрытий (например, осажденного вещества и/или микроструктуры) требует точного управления формой сигнала (например, сигнала тока и/или напряжения), подаваемого к одному или более комплектам электродов одновременно. Кроме того, исходя из желательного гальванического взаимодействия среди или между индивидуальными слоями покрытия и/или между слоями покрытия и заготовкой, электроосаждение может потребовать сложных признаков в сигнале и/или может оказаться необходимым модифицировать сигнал в режиме реального времени сообразно технологической стадии и/или обратной связи процесса для того, чтобы добиться конкретных сочетаний свойств.

Описание предшествующего уровня техники

В традиционных системах электроосаждения обычно применяются импульсы тока на основе скачкообразных переходов напряжения или тока, которые ограничивают степень точности, которая может быть применена в процессе электроосаждения. Хотя в некоторых имеющих к этому отношение системах гальваностегии, например системах гальваностегии в полупроводниковой промышленности или технологических процессах нанесения покрытий, источники тока могут включать аналоговые схемы и микроконтроллеры, которые способны работать с целым диапазоном сигналов. Однако диапазон сигналов в этих системах гальваностегии ограничен как по числу доступных форм сигнала, так и по типу сигналов, которые могут быть созданы. В дополнение, те типы сигналов, которые могут быть созданы, дополнительно ограничены предзагруженными полноразмерными сигналами и/или ограничены стандартными конфигурациями профиля сигнала. То есть сигналы не могут быть модифицированы в режиме реального времени. Кроме того, источники питания и контроллеры в традиционных системах обычно управляют только напряжением или током на одну пару электродов (т.е. анод и катод).

В то время как традиционные системы обеспечивают гибкость работы контроллера тем, что включают программируемые в условиях эксплуатации логические матрицы, в известных системах электропитания необходимо присоединять контроллер к специальному магистральному электроснабжению или источникам питания. То есть каждый контроллер предназначен для применения, например, с источником питания конкретной модели или ограниченного ряда моделей, источниками питания конкретных изготовителей и/или источниками питания с конкретными диапазонами выходной мощности. Это значит, что пользователю необходимо приобретать и изучать различное программное обеспечение для каждого источника питания. Более того, известные системы имеют переменные степени нестабильности, которые могут оказывать вредное влияние на процесс нанесения покрытия. Известные системы нельзя калибровать по выходному сигналу и/или не рассчитаны на ее модифицирование, чтобы учитывать нестабильности процесса. Соответственно, существует потребность в улучшенных системах и способах управления электропитанием. Настоящее изобретение обеспечивает это и связанные с ним преимущества.

Сущность изобретения

В вариантах осуществления данной технологии системы электроснабжения, которые включают контроллер и источник питания, динамически генерируют сигналы электроосаждения с любым желательным профилем сигнала (например, генерируют сложный аналоговый сигнал) путем модуляции или изменения в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и/или некоторых других параметров сигнала. Желательный профиль сигнала может быть применен к профилю напряжения и/или тока сигнала электроосаждения. Затем сигнал электроосаждения выводится на комплект электродов в электрохимической ванне для выполнения процесса электроосаждения.

В вариантах осуществления настоящее изобретение предлагает систему, включающую в себя ванну электрохимической обработки; комплект электродов, предназначенных для их применения при осаждении многослойного наноламинатного покрытия на заготовку; источник питания электроосаждения, соединенный с комплектом электродов, причем источник питания электроосаждения содержит входное соединение, предназначенное для приема сложного аналогового сигнала, причем источник питания электроосаждения выполнен с возможностью усиления сложного аналогового сигнала с генерированием желательного сигнала электроосаждения, причем желательный сигнал электроосаждения предназначен для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на заготовку; и контроллер на базе процессора, содержащий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала; схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором выполнена с возможностью управления генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного ана-

логового сигнала или их сочетания; и выходную схему контроллера, соединенную с входом источника питания электроосаждения, причем выходная схема контроллера выполнена с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на упомянутый вход.

В других вариантах осуществления настоящее изобретение предлагает контроллер для процесса электроосаждения, включающий в себя схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала, соответствующего сигналу электроосаждения, и выполненную с возможностью передачи этого сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения; схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного нанопластинчатого покрытия, причем схема управления синтезатором выполнена с возможностью управления генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и выходную схему контроллера, выполненную с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на вход источника питания электроосаждения.

В дополнительных вариантах осуществления настоящее изобретение предлагает способ электроосаждения покрытия на заготовку, включающий в себя выбор набора команд, соответствующего процессу электроосаждения; создание специализированного набора команд корректированием набора команд на основе информации, относящейся к геометрической форме заготовки, площади поверхности заготовки, источнику питания электроосаждения или их сочетанию; генерирование сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, который основан на скорректированном наборе команд, причем генерирование содержит модуляцию в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания на основе по меньшей мере набора команд; подачу сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения; генерирование сигнала электроосаждения источником питания на основе сложного аналогового сигнала; и передачу сигнала электроосаждения на комплект электродов в ванне обработки электроосаждением, с осаждением тем самым покрытия на заготовку.

Краткое описание некоторых видов на чертежах

Подробное описание приведено со ссылкой на сопроводительные фигуры. На фигурах самая(ые) левая(ые) цифра(ы) ссылочного номера указывает(ют) ту фигуру, на которой впервые появляется этот ссылочный номер. Применение одинаковых ссылочных номеров на различных фигурах указывает на сходные или идентичные компоненты или признаки.

Фиг. 1 иллюстрирует вариант осуществления системы электроосаждения, изображающий управление ваннами электрохимической обработки через соединенные сеть контроллеры.

Фиг. 2А иллюстрирует один вариант осуществления контроллера, который может быть использован в системе по фиг. 1.

Фиг. 2В иллюстрирует еще один вариант осуществления контроллера, который может быть использован в системе по фиг. 1.

Фиг. 3 иллюстрирует способ калибровки источника питания электроосаждения для создания файла драйвера источника питания.

Фиг. 4А-4С иллюстрируют высокоуровневый обзор стадий работы систем для выполнения процесса электроосаждения на поверхность заготовки.

Фиг. 5А иллюстрирует генерацию сигнала второго порядка с использованием характеристик двух сигналов первого порядка.

Фиг. 5В иллюстрирует вариант осуществления сложного аналогового сигнала, который может быть сгенерирован системой по фиг. 1.

Подробное описание изобретения

Здесь описывается система и устройство для электроосаждения покрытия (например, многослойного покрытия) на заготовку. В вариантах осуществления такие системы применяются для электроосаждения одного или более нанопластинчатых или микропластинчатых покрытий из металла или металлического сплава на всю заготовку или ее часть, например поверхность заготовки. Заготовка может представлять собой активированную заготовку, которая была подготовлена (например, предварительно обработана) для процесса осаждения. В некоторых вариантах осуществления заготовку активируют, по меньшей мере отчасти, электрохимическим травлением под управлением сигнала травления или части сложного аналогового сигнала, который создает одно или более нанопластинчатых или микропластинчатых покрытий на заготовке.

Перед более подробным изложением этого изобретения для лучшего его понимания может быть полезным дать определения некоторых применяемых здесь терминов. Дополнительные определения излагаются на протяжении этого описания.

Используемый здесь термин "комплект электродов" или "электродный комплект" относится по меньшей мере к одному аноду и соответствующему по меньшей мере одному катоду. В вариантах осу-

ществления комплект электродов представляет собой пару анод-катод. Однако в таких вариантах осуществления либо анод, либо катод может быть общим у двух или более комплектов электродов. Например, электрохимическая ванна может иметь один, два, три, четыре или более анодов и общий катод, и "электродный комплект" может относиться к соответствующему аноду в сочетании с этим общим катодом. В других вариантах осуществления электродный комплект относится к общему катоду, который соответствует множеству анодов.

Используемый здесь термин "электролит" означает ванну электролита, гальваническую ванну или раствор для нанесения гальванического покрытия, из которого могут быть электроосаждены один или более металлов.

"Электроосаждение" или "электроосажденный" относится соответственно к процессу или полученному продукту, в котором применяется электролиз для осаждения покрытия на заготовку. Другими словами, заготовку приводят в контакт с раствором электролита (например, частично или полностью погружают в него), содержащим один или более ионов (например, металла, керамики и т.д.), при пропускании электрического тока через заготовку и раствор электролита, что приводит к осаждению тонкого покрытия на поверхность заготовки.

"Покрытия" включают тонкие слои, которые нанесены электроосаждением на поверхность заготовки. Поэтому используемый здесь термин "покрытия" включает плакировки, которые выполнены из последовательности тонких электроосажденных слоев на поверхности оправки, причем оправку удаляют после формирования электроосажденных слоев. Плакировки после формирования обычно прикрепляют к другому изделию в качестве защитного слоя.

Применяемый здесь термин "ламинатный" или "многослойный" относится к материалам (например, покрытиям), которые включают два или более слоя. В вариантах осуществления "многослойный" или "ламинатный" относится к материалам, которые включают, состоят по существу из или состоят из последовательности слоев, которые могут быть размещены в чередующемся или нечередующемся порядке. Чередующиеся слои могут включать слои двух типов (например, А, В, А, В, А, В, ...), слои трех типов (например, А, В, С, А, В, С, А, В, С, ...), слои четырех типов (например, А, В, С, D, А, В, С, D, ...) или слои большего числа типов. Нечередующиеся слои могут включать три или более, четыре или более или пять или более различных типов слоев. Используемый здесь термин "ламинатный" включает наноламинатный.

"Наноламинат" или "наноламинатный", в пределах смысла этого изобретения, включает покрытия, содержащие два или более слоя, в которых каждый из индивидуальных слоев имеет толщину менее 10000 нм (т.е. 10 мкм). Другими словами, термин "наноламинатный" в "наноламинатных покрытиях" в этом описании относится к толщине слоев в покрытии, а не ко всей толщине покрытия, составленного из индивидуальных слоев. В вариантах осуществления "наноламинатный" относится к материалам или покрытиям, которые содержат, состоят по существу из или состоят из последовательности нанесенных друг на друга слоев менее 1 мкм. Описываемые здесь процессы особенно пригодны для создания наноламинатных покрытий, однако они, несомненно, могут быть использованы также для изготовления изделий, в которых индивидуальные слои являются более толстыми, чем 10 мкм.

"Заготовка" включает любой предмет с поверхностью, на которой электроосаждают покрытие. Заготовки включают подложки, которые представляют собой объекты, на которые наносится покрытие, и оправки, которые представляют собой подложки, с которых покрытие снимают после формирования. Заготовки могут быть выполнены из проводящего материала (например, металла), выполнены из смеси проводящих и непроводящих материалов (например, смеси полимер-металл) или покрыты проводящим материалом (например, непроводящий материал, покрытый металлическим слоем путем осаждения методом химического восстановления).

Заготовка, используемая в вариантах осуществления настоящего изобретения, может представлять собой любую подходящую заготовку. В вариантах осуществления заготовка выполнена из полимерного материала. В некоторых вариантах осуществления полимерный материал представляет собой пластический материал. В других вариантах осуществления заготовка выполнена из металла или сплава. В некоторых вариантах осуществления металл представляет собой стальной сплав.

Термин "длина волны" относится к толщине двух соседних слоев, которые сформированы в едином цикле осаждения в тех вариантах осуществления, где плотность тока является периодической функцией.

Применяемый здесь термин "сложный сигнал" относится к любому произвольному сигналу, который может быть сгенерирован или модифицирован во время процесса электроосаждения, в том числе сигналам, состоящим из основной частоты, сигналам с основной частотой, имеющей наложенные гармоники, и/или сигналам, состоящим из комбинации двух или более сигналов. Сложный сигнал может включать в себя периоды выключения (межимпульсные интервалы) и периоды, где ток меняется на обратный (например, импульсные и реверсивно-импульсные сигналы для нанесения покрытия).

Применяемый здесь термин "генерировать" включает начальное создание нового сигнала и/или последующие модификации или изменения этого сигнала. Для генерирования полного сигнала можно использовать управление последовательностью вложенного цикла, при котором конечный сигнал электроосаждения генерируется организацией циклов последовательных подсигналов для заданного счета цик-

лов, заданного периода времени или неопределенно, пока процесс электроосаждения не завершится или не изменится по некоторой причине. В некоторых вариантах осуществления сигнал электроосаждения специальной формы генерируется путем модуляции базового сигнала с использованием характеристик второго сигнала для генерирования сигнала "второго порядка", который затем используется в качестве сигнала электроосаждения. Характеристики второго сигнала могут включать одно, два, три или более из амплитуды, частоты, смещения, нарастания, выброса, длины волны, фазы, скорости и производной сигнала (для учета резких или постепенных переходов сигнала). Сигналы, которые используют для генерирования сигнала второго порядка, также называются здесь сигналами "первого порядка". Сигналы первого порядка могут быть выбраны из множества предзагруженных сигналов и могут быть стандартными сигналами, такими как, например, сигналы синусоидальной формы, сигналы треугольной формы, прямоугольные волны и т.д. и/или другой сигнал специальной формы. Информация от одного или более сигналов первого порядка (например, информация, относящаяся к амплитуде, частоте, смещению, нарастанию, длине волны, фазе, скорости, производной сигнала и т.д.) может быть использована для модифицирования другого сигнала первого порядка или существующего сигнала электроосаждения с тем, чтобы генерировать сигнал электроосаждения, который выводится на один или более комплектов электродов в ваннах электрохимической обработки.

Термины или понятия, используемые в контексте описания изобретения в единственном числе (особенно в контексте нижеследующей формулы изобретения), должны толковаться как охватывающие и единственное, и множественное число (т.е. "один или более"), если только здесь не оговорено иное или определенно не отрицается контекстом. Приведенные здесь диапазоны значений предназначены служить в качестве метода сокращения ссылок по отдельности на каждое конкретное значение, попадающее в пределы диапазона. В настоящем описании любой диапазон концентраций, диапазон процентных содержаний, диапазон соотношений или диапазон целых чисел должен пониматься как включающий значение любого целого числа в пределах указанного диапазона и, если это уместно, его долей (таких как одна десятая и одна сотая целого числа), если не оговорено иное. Кроме того, любой указанный здесь численный диапазон, относящийся к любой физической характеристике, такой как размер или толщина, следует понимать как включающий любое целое число в пределах указанного диапазона, если не оговорено иное. Если здесь не оговаривается иное, каждое индивидуальное значение включено в описание, как если бы оно было указано здесь отдельно.

Применение альтернативы (например, "или") должно пониматься как означающее одну, обе или любую комбинацию альтернативных вариантов. Различные описанные выше варианты осуществления могут быть скомбинированы для создания дополнительных вариантов осуществления. Группировки описываемых здесь альтернативных элементов или вариантов осуществления изобретения не должны толковаться как ограничения. Каждый член группы может быть указан и заявлен по отдельности, или в любом сочетании с другими членами группы, или найденными здесь другими элементами. Союз "или", используемый здесь в описании и в формуле изобретения, должен пониматься как означающий "любой или оба" из объединенных таким образом элементов, т.е. элементов, которые присутствуют совместно в некоторых случаях и присутствуют порознь в других случаях. Множественные элементы, перечисленные с союзом "или", должны толковаться таким же образом, т.е. "один или более" из объединенных таким образом элементов. Необязательно могут присутствовать другие элементы, иные, нежели элементы, конкретно указанные с союзом "или", имеют ли они или не имеют отношение к тем конкретно указанным элементам. Так, в качестве неограничивающего примера упоминание "А или В" при использовании в связи с неограничивающей терминологией, такой как "содержащий" или "включающий", может означать в одном варианте осуществления только А (необязательно включая иные элементы, нежели В), в еще одном варианте осуществления - только В (необязательно включая иные элементы, нежели А), в еще одном дополнительном варианте осуществления - как А, так и В (необязательно включая другие элементы) и т.д.

Выражение "и/или", используемое здесь, должно пониматься как означающее "любой или оба" из объединенных таким образом элементов, т.е. элементов, которые присутствуют совместно в некоторых случаях и присутствуют порознь в других случаях.

Множественные элементы, перечисленные с "и/или", должны толковаться таким же образом, т.е. "один или более" объединенных таким образом элементов. Необязательно могут присутствовать другие элементы, иные, нежели элементы, конкретно указанные с союзом "и/или", имеют ли они или не имеют отношение к тем конкретно указанным элементам. Так, в качестве неограничивающего примера упоминание "А и/или В" при использовании в связи с неограничивающей терминологией, такой как "содержащий" или "включающий", может означать в одном варианте осуществления только А (необязательно включая иные элементы, нежели В), в еще одном варианте осуществления - только В (необязательно включая иные элементы, нежели А), в еще одном дополнительном варианте осуществления - как А, так и В (необязательно включая другие элементы) и т.д.

Применяемое здесь выражение "по меньшей мере один" со ссылкой на список из одного или более элементов должно пониматься как означающее по меньшей мере один элемент, выбранный из любых одного или более элементов в списке элементов, но необязательно включая по меньшей мере один из каждого и всякого элемента, конкретно перечисленного в пределах списка элементов, и не исключая лю-

бые сочетания элементов из списка элементов. Это определение также допускает, что необязательно могут присутствовать другие элементы, нежели элементы, конкретно указанные в пределах того списка элементов, к которому относится выражение "по меньшей мере один", имеют ли они или не имеют отношение к тем конкретно указанным элементам. Так, в качестве неограничивающего примера "по меньшей мере один из А и В" (или, эквивалентно, "по меньшей мере один из А или В" или, эквивалентно, "по меньшей мере один из А и/или В") может относиться в одном варианте осуществления по меньшей мере к одному А, необязательно включая более чем один А, без присутствия В (и необязательно включая иные элементы, чем А), в еще одном варианте осуществления по меньшей мере к одному В, необязательно включая более чем один В, без присутствия А (и необязательно включая иные элементы, чем А), в еще одном дополнительном варианте осуществления по меньшей мере к одному А, необязательно включая более чем один А, и по меньшей мере к одному В, необязательно включая более чем один В (и необязательно включая другие элементы), и т.д.

В контексте этого описания слова "процесс" и "способ" являются синонимичными. Также должно быть понятно, что, если явно не оговорено иное, описываемые здесь и заявленные ниже процессы могут включать стадии в дополнение к указанным стадиям, и порядок следования стадий или действий процесса не обязательно ограничен тем порядком, в котором эти стадии или действия процесса указаны.

Каждый раскрытый здесь вариант осуществления может содержать, состоять по существу из или состоять из конкретных указанных элемента, стадии, ингредиента или компонента. Термин "содержать" или "содержит" означает "включает, но не ограничен этим", и допускает включение неуказанных элементов, стадий, ингредиентов или компонентов, даже в значительных количествах. Выражение "состоящий из" исключает любые элемент, стадию, ингредиент или компонент, которые конкретно не указаны. Выражение "состоящий по существу из" ограничивает объем варианта осуществления указанными элементами, стадиями, ингредиентами или компонентами, и теми, которые не оказывают существенного влияния на базовые и новые характеристики заявленного изобретения.

В вариантах осуществления система для осаждения слоистого наноламинатного сплава включает в себя одну или более ванн электрохимической обработки, причем каждая ванна электрохимической обработки имеет один или более комплектов электродов для применения при осаждении многослойных наноламинатных покрытий на одной или более заготовках. Такая система также может включать один или более источников питания электроосаждения, причем каждый источник питания соответственно соединен с одним электродным комплектом из упомянутых одного или более комплектов электродов. В вариантах осуществления каждый источник питания имеет входное соединение, предназначенное для приема сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, подлежащего выведению из источника питания, и каждый источник питания выполнен с возможностью усиления принятого сложного аналогового сигнала с генерированием желательного сигнала электроосаждения. Каждый источник питания электроосаждения может передавать желательный сигнал электроосаждения на соответствующий электродный комплект из упомянутых одного или более комплектов электродов. В некоторых вариантах осуществления источник питания электроосаждения независимо подает сигналы электроосаждения более чем на один соответствующий электродный комплект. Такие сигналы электроосаждения, подаваемые соответствующим источником питания, вызывают осаждение наноламинатных покрытий на соответствующую заготовку. Данный источник питания электроосаждения имеет максимальную скорость переключения, которая является мерой того, насколько быстро источник питания переходит с первого уровня амплитуды на второй уровень амплитуды.

В вариантах осуществления система также включает в себя контроллер на базе процессора, имеющий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования каждого сложного аналогового сигнала, передаваемого на вход соответствующего источника питания электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления контроллер на базе процессора также включает в себя схему управления синтезатором, которая выполнена с возможностью управления схемой синтезатора сигнала. На основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с информацией, относящейся к осаждению многослойных наноламинатных покрытий, схема управления синтезатором управляет генерированием соответствующего сложного аналогового сигнала путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одного из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала. По сути, в некоторых вариантах осуществления контроллер на базе процессора обеспечивает и модулирует в режиме реального времени периоды выключения (межимпульсные интервалы), длительности нарастающего импульса, длительности спадающего импульса или их сочетание. В дополнительных вариантах осуществления контроллер на базе процессора дополнительно включает в себя одну или более выходных схем контроллера, соответственно соединенных с входом каждого источника питания электроосаждения, причем каждая выходная схема контроллера выполнена с возможностью передачи соответствующего сложного аналогового сигнала на вход каждого источника питания электроосаждения. В вариантах осуществления схема управления синтезатором включает в себя программируемую пользователем логическую матрицу (также называемую программируемой логической интегральной схемой, ПЛИС). В некоторых вариантах осуществления модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, дли-

ны волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя модуляцию одной или более первых характеристик базового сигнала первого порядка с использованием одной или более вторых характеристик по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между этими первой(ыми) и второй(ыми) характеристиками для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала. В некоторых вариантах осуществления модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала.

Контроллер на базе процессора имеет максимальную частоту дискретизации (также называемую частотой следования импульсов таймера или тактовой частотой), которая представляет собой частоту, с которой производится выборка выходной мощности. Как правило, для получения точных сигналов частота дискретизации является во много раз большей, чем наивысшая частота сигнала. Частота дискретизации определяет ширину шага генерированного сигнала, а также максимально достижимую частоту сигнала. В вариантах осуществления частоты дискретизации составляют в диапазоне от постоянного тока (DC) до 12 ГГц. В других вариантах осуществления частоты дискретизации составляют в диапазоне от постоянного тока до 350 кГц. В вариантах осуществления контроллер на базе процессора модулирует частоту дискретизации. В некоторых вариантах осуществления контроллер на базе процессора имеет частоту дискретизации, которая является более высокой, чем максимальная частота дискретизации для данного источника питания. В таких вариантах осуществления контроллер на базе процессора может модулировать частоту дискретизации для согласования с максимальной частотой дискретизации источника питания, например, чтобы сберечь ресурсы.

В дополнительных вариантах осуществления контроллер на базе процессора регулирует и/или модулирует скорость переключения источника питания электроосаждения. Скорость переключения может составлять в диапазоне от 1 пс до 500 мс. В вариантах осуществления скорость переключения составляет менее примерно 5 мс. В дополнительных вариантах осуществления скорость переключения составляет примерно 5 мс.

Варианты осуществления обсуждаемых здесь систем демонстрируют улучшенную стабильность на всем протяжении длительных периодов эксплуатации по сравнению с существующими системами, отчасти благодаря введению контроллера, имеющего схему синтезатора сигнала и схему управления синтезатором для динамического изменения сигнала электроосаждения на основе технологической стадии и/или обратной связи процесса, такой как температура электролита, общая толщина осажденного покрытия, толщина осажденного слоя или осажденных слоев, удельное сопротивление покрытия, считанные показания тока и/или напряжения между отдельными электродами и/или другие виды обратной связи процесса и/или системы. В некоторых вариантах осуществления схема управления синтезатором представляет собой ПЛИС, которая обеспечивает способность параллельной обработки. В дополнение, контроллер позволяет выполнять генерацию сигналов, имеющих любые желательные профили сигнала (например, сложный аналоговый сигнал, имеющий любую желательную форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость и производную и/или другой(ие) параметр(ы) сигнала), чтобы получать желательные состав и/или микроструктуру покрытия. Желательный профиль сигнала может быть применим к профилю напряжения и/или тока сигнала.

Способность генерировать сложные аналоговые сигналы обеспечивает значительно большую гибкость в процессе электроосаждения, чем традиционные источники питания. Дополнительная гибкость может быть необходимой для того, чтобы создавать наноламинатные покрытия, которые находятся в пределах желательного диапазона осажденных веществ, микроструктур и/или толщин. Так, системы энергоснабжения, которые способны формировать сигналы самых разнообразных форм, имеющие любой желательный профиль сигнала, представляют собой усовершенствование перед традиционными системами энергоснабжения для управления получением наноламинатных покрытий. Напротив, традиционные системы энергоснабжения могут быть предзагруженными и/или имеют ограниченное число вариантов профилей сигнала (например, только прямоугольные волны).

В вариантах осуществления настоящего изобретения источник питания электроосаждения создает сигналы электроосаждения, включая периодические сигналы и непериодические сигналы, имеющие любой желательный параметр. В некоторых вариантах осуществления сигнал электроосаждения выбирается из множества сигналов, которые были предзагружены, например, в контроллер или другой прибор в системе электроосаждения.

В качестве альтернативы или в дополнение к предзагруженным сигналам, сигнал электроосаждения может быть специально построен по потребности с использованием программы формирования сигналов, которая позволяет создавать совершенно новые сигналы и/или модифицировать существующие сигналы (например, существующие сигналы, которые были предзагружены в систему). В некоторых вариантах осуществления сигнал электроосаждения специальной формы генерируется из подсигналов, которые также могут быть предзагружены в систему и которые затем могут быть упорядочены совместно для генерирования полного сигнала электроосаждения.

Еще один вариант осуществления настоящего изобретения направлен на контроллер для процесса электроосаждения, который включает в себя схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, подлежащему выдаче из источника питания электроосаждения. В вариантах осуществления контроллер также включает схему управления синтезатором, предназначенную для управления схемой синтезатора сигнала. На основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с относящейся к процессу электроосаждения информацией, схема управления синтезатором управляет генерированием сложного аналогового сигнала путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала.

В некоторых вариантах осуществления контроллер дополнительно включает в себя выходную схему контроллера, предназначенную для передачи сложного аналогового сигнала на вход источника питания электроосаждения. В вариантах осуществления схема управления синтезатором включает в себя ПЛИС. В некоторых вариантах осуществления модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя модуляцию одной или более первых характеристик базового сигнала первого порядка с использованием одной или более вторых характеристик по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между этими первой и второй характеристиками для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала. В некоторых вариантах осуществления модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала.

Еще один вариант осуществления настоящего изобретения направлен на способ электроосаждения покрытия на заготовку. В вариантах осуществления этот способ включает в себя выбор стандартизированного набора команд, соответствующего желательному процессу электроосаждения, и корректирование стандартизированного набора команд на основе информации, относящейся по меньшей мере к одному из геометрической формы заготовки, площади поверхности заготовки и источника питания электроосаждения, используемого для электроосаждения покрытия на заготовку. В некоторых вариантах осуществления способ также включает в себя генерирование сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, на основе скорректированного набора команд и подачу сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения. Способ может дополнительно включать в себя генерирование сигнала электроосаждения в источнике питания на основе сложного аналогового сигнала и выведение сигнала электроосаждения из источника питания на соответствующий заготовке электродный комплект. В некоторых вариантах осуществления способ включает в себя осаждение покрытий на заготовку на основе сигнала электроосаждения. Способ дополнительно включает в себя модуляцию в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с относящейся к осаждению покрытий информацией. В любом из описанных вариантов осуществления заготовка может представлять собой подложку.

Фиг. 1 иллюстрирует один вариант осуществления операционной среды 100 электроосаждения, изображающий управление одной или более ваннами 114, 116, 118 электрохимической обработки посредством одного или более соответствующих контроллеров 106, 108, 110. Система действует для осаждения покрытия, например нанослойного, нанопластинчатого покрытия, на заготовки 120, 122, 124. Заготовки 120, 122, 124 в соответствующих ваннах 114, 116, 118 могут быть из металла (например, железа, стали и т.д.), металлического сплава или полимерного материала (например, термопластичного, терморезистивного и/или композитного из них и т.д.). Заготовки 120, 122, 124 подсоединены к электродам 140а, 142а, 144а соответственно. В вариантах осуществления насосы 132, 134, 136 накачивают электролитический раствор в соответствующие ванны 114, 116, 118 электрохимической обработки перед процессом электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления насосы 132, 134, 136 используются для добавления электролитического раствора во время процесса электроосаждения, если это необходимо. С ваннами 114, 116, 118 обработки соединены соответственно регулировочные клапаны 156, 158, 160 для удаления электролитического раствора из соответствующих ванн. Мешалки 170, 172, 174 перемешивают электролитический раствор в соответствующих ваннах 114, 116, 118.

В вариантах осуществления мешалки 170, 172, 174, насосы 132, 134, 136 и регулировочные клапаны 156, 158, 160 соответственно управляются контроллерами 150, 152, 154 автоматизации ванны. Контроллеры 150, 152, 154 автоматизации ванны управляют по меньшей мере одним из уровня электролита, концентрации электролита, температуры электролита и расхода в каждой из ванн 114, 116, 118 электрохимической обработки соответственно. В других вариантах осуществления единственный контроллер автоматизации ванн управляет по меньшей мере одним из уровня электролита, концентрации электролита, температуры электролита и расхода в каждой из ванн электрохимической обработки независимо. Контроллеры 150, 152, 154 автоматизации ванны могут работать автономно или могут работать на основе

команд, принимаемых от соответствующих контроллеров 106, 108, 110. В вариантах осуществления контроллеры 106, 108, 110 сообщаются с соответствующими контроллерами 150, 152, 154 автоматизации ванны с использованием соединения прямой связи (либо проводной, либо беспроводной) и/или присоединены к общей сети 180. Общая сеть может представлять собой любую пригодную сеть, такую как локальная сеть Ethernet, сеть Modbus, сеть с шинной архитектурой CAN или какая-то другая подходящая коммуникационная сеть.

Каждая из ванн 114, 116, 118 электрохимической обработки может иметь блоки 162, 164, 166 датчиков, которые измеряют или воспринимают технологические параметры, такие как температура, уровень, концентрация электролита, толщина покрытия, удельное сопротивление покрытия, напряжение или ток между электродами, и/или какой-то другой параметр процесса. В вариантах осуществления выходной сигнал от блоков 162, 164, 166 датчиков посылается непосредственно в контроллеры 106, 108, 110. В других вариантах осуществления выходной сигнал от блоков 162, 164, 166 датчиков направляется в контроллеры 106, 108, 110 через соответствующие контроллеры 150, 152, 154 автоматизации ванны, которые также могут использовать сигналы датчиков для регулирования, например, температуры, уровня, концентрации электролита и т.д. в соответствующих ваннах 114, 116, 118 обработки. В каждом из контроллеров 106, 108, 110 данные от датчиков могут быть затем использованы для надлежащего управления, модифицирования, регулирования и т.д. процесса электроосаждения, в том числе модифицирования последовательности технологических стадий и/или модифицирования сигнала электроосаждения, если это необходимо.

Как видно на фиг. 1, в вариантах осуществления каждый из контроллеров 106, 108, 110 соединен с сетью 104 и может сообщаться с центральной управляющей станцией 102 через сеть 104. Сеть 104 может быть беспроводной и/или проводной и может представлять собой региональную сеть (WAN), локальную сеть (LAN), облачную сеть и/или Интернет. В вариантах осуществления контроллеры 106, 108, 110 включают веб-сервер, и центральная управляющая станция 102 сообщается с контроллерами 106, 108, 110 с использованием веб-браузера. При использовании интерфейса браузера центральная управляющая станция 102 не должна включать специализированное программное обеспечение для осуществления связи с контроллерами 106, 108, 110 и может представлять собой любой стандартный компьютер, смартфон, мобильное устройство или любое другое устройство, которое имеет веб-браузер. Любое требуемое для мониторинга процесса и/или конфигурирования процесса программное обеспечение может быть встроено в один или все из контроллеров 106, 108, 110. В некоторых вариантах осуществления центральная управляющая станция 102 представляет собой специализированный компьютер, который включает в себя программу для мониторинга и/или конфигурирования процесса электроосаждения в ваннах 114, 116, 118 электрохимической обработки. В некоторых вариантах осуществления центральная управляющая станция 102 размещена локально, т.е. в том же месте, что и контроллеры 106, 108, 110. В некоторых вариантах осуществления центральная управляющая станция 102 размещена удаленно (например, в центральной диспетчерской, на другой установке или в другом географическом местоположении). В некоторых вариантах осуществления центральная управляющая станция не применяется, и процессом электроосаждения управляют с использованием одного из или всех контроллеров 106, 108, 110.

При работе управляющая станция 102 передает команды на один или более из контроллеров 106, 108, 110 для управления процессом электроосаждения. Команды могут быть в форме "рецепта" (т.е. набора команд) для осаждения слоя покрытия (например, нанослойного покрытия из металла или металлического сплава) на заготовку. В вариантах осуществления этот набор команд находится в стандартизированном формате для признаков, обычных для типа процесса электроосаждения, так что может быть использован один и тот же набор команд (т.е. "стандартизированный набор команд"). Например, во многих случаях последовательность стадий нанесения покрытия на заготовку, критерии добавления резервного раствора во время процесса и/или выходной сигнал источника питания, используемого в процессе электроосаждения, могут быть одними и теми же, несмотря на масштаб процесса электроосаждения. Однако отличия в размере заготовки, геометрической форме заготовки, силе тока источника питания, качестве химического состава восполняемых добавок и т.д. от тех, которые использовались для конфигурирования стандартизированного набора команд, должны приниматься во внимание, когда фактический процесс отклоняется от предусмотренного стандартизированным набором команд, что обычно и имеет место. Для этой цели, когда оператор выбирает желательный стандартизированный набор команд, оператор вводит подробные сведения о фактическом процессе (например, подробности об источниках питания, заготовке и т.д.). Эти введенные оператором данные затем используются соответствующими контроллерами 106, 108, 110 для корректирования различий между стандартизированным набором команд и фактическим процессом. В вариантах осуществления введение оператором данных упрощается тем, что оператор выбирает из заданных списков выбора (меню). Например, оператору может быть представлен список размеров и/или геометрических форм заготовок и список номеров моделей источников питания, имеющих различные амперные характеристики, которые совместимы с выбранным набором команд, и это только ряд примеров. Контроллеры 106, 108, 110 выполнены с возможностью применения введенной оператором информации для подтверждения и/или корректирования, если необходимо, заданных параметров процесса электроосаждения (например, силы тока источника питания, концентрации химических

веществ, расхода насоса и т.д.) и/или критериев для выполнения каждого этапа в наборе команд (например, заданной длительности во времени, заданного накопления ампер-часов, обратной связи процесса, такой как доведение концентрации раствора до заданного значения и т.д.). Альтернативно или в дополнение к заданным спискам, оператор также может иметь возможность непосредственного ввода информации.

В вариантах осуществления набор команд представлен в базовом (например, общедоступном, незапатентованном) формате, который принимается и используется контроллерами различных моделей, различных изготовителей и т.д. В некоторых вариантах осуществления набор команд находится в читаемой человеком форме для идентификации того покрытия, которое будет получено по этому "рецепту" (т.е. набору команд). В вариантах осуществления набор команд включает информацию о последовательных стадиях управления каждым из слоев покрытия в процессе электроосаждения. Например, последовательные стадии могут включать инструкции для управления различным оборудованием (например, насосами 132, 134, 136, мешалками 170, 172, 174, регулировочными клапанами 156, 158, 160 и т.д.), используемым в процессе электроосаждения, длительности во времени каждой стадии, накопление ампер-часов для каждой стадии и/или информацию для создания и/или критерии для модифицирования профиля сигнала электроосаждения (например, профиля сигнала тока и/или напряжения, передаваемого на один или более комплектов электродов 140a, 140b, 142a, 142b, 144a, 144b в ваннах 114, 116, 118 электрохимической обработки). Набор команд также может включать инструкции в отношении плотности тока, применяемой на различных стадиях процесса электроосаждения (например, плотности тока для каждого из слоев покрытия в процессе нанесения многослойного наноламинатного покрытия).

На основе геометрической формы и размера соответствующих заготовок 120, 122, 124 в некоторых вариантах осуществления контроллеры 106, 108, 110 используют информацию о плотности тока для надлежащего управления выходной мощностью соответствующих источников 126, 128, 130 питания во время различных стадий процесса электроосаждения. Сведения о геометрической форме и размере заготовки 120, 122, 124 также могут быть переданы посредством набора команд и/или могут быть вручную введены в контроллер 106, 108, 110. Операционные команды, такие как, например, настройка расхода, температуры и/или концентрации электролита в ваннах 114, 116, 118 электрохимической обработки, могут быть непосредственно исполнены контроллерами 106, 108, 110 и/или переданы на соответствующие контроллеры 150, 152, 154 автоматизации ванны для дальнейшей обработки и исполнения. Набор команд также может включать инструкции для реагирования на изменение условий в системе, таких как, например, инструкции для модифицирования сигнала электроосаждения и/или последовательности стадий, на основе, например, заданного периода времени или длительности, заданного накопления ампер-часов и/или обратной связи от блоков 162, 164, 166 датчиков в ваннах 114, 116, 118 электрохимической обработки.

В вариантах осуществления один или более из контроллеров 106, 108, 110 принимают инструкции от управляющей станции 102 (например, через интерфейс веб-браузера) и затем, соответственно, передают через коммуникационную сеть 104 надлежащие команды по меньшей мере на один другой контроллер. Таким образом, каждый контроллер 106, 108, 110 в сети 104 может действовать как узел ячеистой сети. Ячеистая сеть контроллеров улучшает стабильность системы за счет снижения зависимости системы от единственной внешней управляющей станции, такой как управляющая станция 102, для обеспечения задающего управляющего воздействия на контроллеры в системе. Например, когда инструкции посылаются управляющей станцией 102 на один или более из контроллеров 106, 108, 110, все другие контроллеры могут действовать совместно для обеспечения того, что управляющие данные распределяются правильно. Контроллеры 106, 108, 110 могут действовать автономно, когда управляют соответствующими им ваннами 114, 116, 118 на основе соответствующих наборов команд. Однако, когда необходимо, контроллеры 106, 108, 110 также могут сообща использовать данные (например, инструкции от управляющей станции 102, технологические данные и т.д.) через сеть 104 для повышения стабильности системы. В некоторых вариантах осуществления не отдельная управляющая станция 102, а один или более из контроллеров 106, 108, 110 хранят наборы команд для всего процесса электроосаждения и действуют как главная управляющая станция. В некоторых вариантах осуществления по меньшей мере один из контроллеров 106, 108, 110 включает базу данных для хранения данных, относящихся к процессам осаждения. Например, каждый из контроллеров 106, 108, 110 может включать базу данных для хранения управляющей информации, полученной от управляющей станции 102.

В других дополнительных вариантах осуществления упомянутые один или более контроллеров 106, 108, 110 размещены в единственной ванне и работают совместно для обеспечения того, что управляющая информация распределяется правильно на индивидуальные участки единственной ванны. Однованная система может быть использована для осаждения покрытий на крупногабаритных конструкциях (например, трубах для добычи нефти или газа, имеющих длины в диапазоне между приблизительно 15 и 45 футами). В вышеуказанных вариантах осуществления контроллеры 106, 108, 110 могут индивидуально управлять участками токопроводящей шины в крупной ванне электроосаждения, имеющей единственный источник питания или множественные источники. В некоторых вариантах осуществления единственный контроллер управляет множеством источников питания (например, распределенных вдоль

длины токопроводящей шины).

Теперь будут описаны варианты осуществления контроллера 106, 108, 110. Для ясности эти варианты осуществления будут описаны в отношении системы ванны, связанной с контроллером 106. Однако специалистам в данной области техники будет понятно, что это описание также будет применимо к системам ванн, связанным с контроллерами 108 и 100. Контроллер 106 может включать программируемый компьютер на базе процессора любого типа. В вариантах осуществления контроллер 106 представляет собой автономный контроллер, причем контроллер не присоединен к другим компьютерам. Однако предусматривается, что контроллер 106 будет частью сети с другими компьютерами и контроллерами на базе процессора, которые соединены между собой (например, через сеть 104, как видно на фиг. 1).

В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 представляет собой одноплатное реконфигурируемое устройство ввода-вывода (I/O) (sbRIO). Например, как видно на фиг. 2А, контроллер 106 представляет собой sbRIO, которое включает в себя процессор 202 для осуществления стадий управления процессом электроосаждения. Контроллер 106 также включает в себя машиночитаемый носитель 204, который может представлять собой, например, дискковод, оптический диск, твердотельный накопитель, флэш-память или носитель другого типа для хранения, например, операционной системы и/или прикладных программ, таких как, например, программа генерации сигналов, исполняемая процессором 202 для формирования аналогового сигнала 222 электроосаждения, и/или технологические программы для выполнения других технологических функций по отношению к процессу электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления процессор 202 генерирует аналоговый сигнал 222 электроосаждения в режиме реального времени. Контроллер 106 может быть использован для управления и/или мониторинга процесса электроосаждения через схему 212 графического интерфейса пользователя (GUI). Схема 212 GUI может включать в себя дисплей 220 (например, ЖК-дисплей, светодиодный дисплей или дисплей другого типа). В некоторых вариантах осуществления дисплей 220 встроен в контроллер 106, и/или дистанционный GUI (графический интерфейс пользователя) присоединен к контроллеру 106 через подходящее аппаратное средство. Пользователь может применять дисплей 220 и/или дистанционный GUI для отслеживания и/или контроля процесса осаждения в ванне 114 и/или дугой ванне по сети 104.

Контроллер 106 включает сетевое коммуникационное устройство 210, которое может быть соединено с внешней сетью 104 (см. фиг. 1). Внешняя сеть может представлять собой LAN, WAN, облако, Интернет или какую-то другую сеть и может быть проводной и/или беспроводной. В некоторых вариантах осуществления в состав контроллера 106 входит отдельная коммуникационная схема для осуществления связи с контроллером 150 автоматизации ванны, например, через сеть 180. В зависимости от сети и/или части сети, используемый в сети 104 и/или сети 180 протокол может быть любым стандартным протоколом, таким как, например, Ethernet, Modbus, шина CAN, TCP/IP или любой другой подходящий протокол. Конечно, протоколы передачи данных между сетью 104 и сетью 180 не должны быть одинаковыми и могут быть различными. В некоторых вариантах осуществления контроллер 150 автоматизации ванны общается с другими контроллерами 152, 154 автоматизации ванны через сеть 180.

Контроллер 106 может включать базу 206 данных для хранения набора команд и/или других инструкций. База 206 данных может храниться на машиночитаемом носителе 204 и/или база 206 данных может храниться на отдельном устройстве или устройствах. Наряду с базой 206 данных машиночитаемый носитель 204 может включать в себя операционную систему и/или прикладные программы, такие как, например, программа генерации сигнала и/или технологические программы, для управления процессом электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 включает в себя схему 208 синтезатора сигнала, которая функционально связана со схемой управления синтезатором, выполненной с возможностью управления схемой 208 синтезатора сигнала, чтобы генерировать аналоговый сигнал 222 электроосаждения на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд ("рецепта"). В вариантах осуществления схема управления синтезатором представляет собой ПЛИС-схему 216. В вариантах осуществления ПЛИС-схема 216 имеет множество логических блоков или логических ячеек, которые являются конфигурируемыми. Логические блоки в ПЛИС-схеме 216 могут быть сконфигурированы в функциональные блоки управления, такие как, например, контроллеры последовательностей, ПИД-регуляторы, компараторы, мультипликаторы, блоки верхнего и/или нижнего предела технологических параметров, сумматоры, мультиплексоры, усилители и/или функциональная логическая схема любого другого типа. Функциональные блоки управления образуют одну или более независимых схем управления, таких как, например, генерация сигнала электроосаждения путем управления схемой 208 синтезатора сигнала, и/или схемы для управления последовательными стадиями процесса электроосаждения. Краткости ради, варианты осуществления контроллера 106 будут описаны с использованием ПЛИС-схемы 216. Однако схема управления синтезатором и/или схемы для управления последовательными стадиями процесса не ограничиваются ПЛИС-схемой 216, и могут быть использованы программируемые логические схемы другого типа.

ПЛИС-схема 216 управляет генерированием аналогового сигнала 222 путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и/или другого параметра аналогового сигнала 222. Более конкретно, ПЛИС-схема 216 управляет схемой 208 синтезатора сигнала для генерирования формы цифрового сигнала на основе

инструкций в наборе команд. То есть, на основе набора команд, который хранится в базе 206 данных и/или принят от управляющей станции 102 или другого контроллера, ПЛИС-схема 216 может управлять синтезатором 208 сигнала для генерирования аналогового сигнала 222 электроосаждения, имеющего любой желательный профиль сигнала (например, с любой желательной амплитудой, любой желательной частотой (в том числе стационарной, например, нулевой частотой, и вплоть до возможностей источника питания электроосаждения), любой желательной формой волны (например, синусоидальной формой, треугольной формой (например, пилообразной), прямоугольной формой и/или формой волны другого типа), любого желательного смещения, любого желательного нарастания, любой желательной длины волны, любой желательной фазы, любой желательной скорости и/или любой желательной производной). Конечно, специалистам в данной области техники понятно, что "любые желательные" амплитуда, частота, смещение, форма и т.д. подразумевают регулирование до пределов и расчетных параметров источников питания и других компонентов, используемых в системе электроосаждения.

В дополнение, желательный профиль сигнала может основываться, по меньшей мере отчасти, на желательной плотности тока, создаваемой по всей заготовке, которая также может передаваться как часть набора команд. Контроллер 106 может использовать информацию, относящуюся к плотности тока, и информацию, относящуюся к геометрической форме заготовки 120, для генерирования желательного аналогового сигнала 222 электроосаждения. Например, по меньшей мере одна из амплитуды, частоты, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной аналогового сигнала 222 электроосаждения может зависеть от желательной плотности тока и геометрической формы и размера заготовки 120. Цифровой сигнал затем может быть преобразован в аналоговый сигнал (например, аналоговый сигнал 222 электроосаждения) в схеме цифро-аналогового преобразования, которая может быть встроена в схему 208 синтезатора сигнала и/или ПЛИС-схему 216. В некоторых вариантах осуществления аналоговый сигнал 222 затем выводится из контроллера 106 через выходную схему 218 контроллера на вход источника 126 питания. В вариантах осуществления сигнал 222 электроосаждения, выдаваемый из выходной схемы 218 контроллера, представляет собой аналоговый сигнал, который передается на множество источников питания различных типов. В некоторых вариантах осуществления сигнал в цифровой форме из схемы 208 синтезатора сигнала не преобразуется в аналоговый сигнал, и сигнал в цифровой форме посылается непосредственно на источник 126 питания.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 имеет более чем одну выходную схему 218. Например, контроллер 106 может иметь вплоть до восьми выходных схем. Конечно, в некоторых вариантах осуществления контроллер 106 имеет более чем восемь выходных схем. Источник 126 питания выполнен с возможностью отслеживания или следования аналоговому сигналу 222 и выведения сигнала 224 электроосаждения, например, на электроды 140a, 140b. То есть источник 126 питания усиливает аналоговый сигнал 222 для генерирования сигнала 224 электроосаждения.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 включает в себя средство приема сигналов обратной связи от ванны 114 обработки электроосаждением. Например, контроллер 106 может включать в себя схему 214 организации работы датчиков, которая принимает сигналы обратной связи процесса от одного или более датчиков в блоке 162 датчиков, размещенном в ванне 114 электрохимической обработки. Сигналы обратной связи могут быть посланы в схему 214 организации работы датчиков от блока 162 датчиков либо непосредственно, либо через контроллер 150 автоматизации ванны. Схема 214 организации работы датчиков может быть выполнена с возможностью приема цифровых и/или аналоговых сигналов. Однако в некоторых вариантах осуществления схема организации работы датчиков принимает сигналы обратной связи через сетевые коммуникации. Например, блок 162 датчиков может быть соединен непосредственно с контроллером 150 автоматизации ванны, который затем может передавать сигналы обратной связи через сеть 180. Схема 214 организации работы датчиков может включать схему сетевых коммуникаций для связи с сетью 180, которая также может быть соединена с блоками 164, 166 датчиков через соответствующие контроллеры 152, 154 автоматизации ванны, и сигналы обратной связи от блоков 164, 166 датчиков могут быть использованы при управлении источником 126 питания, если желательно. В вариантах осуществления блок 162 датчиков включает в себя один или более датчиков, таких как, например, датчик температуры, датчик уровня электролита, датчик концентрации электролита, датчик для измерения скорости перемешивания, датчик для определения толщины покрытия и/или датчик для определения удельного сопротивления покрытия. В вариантах осуществления блок 162 датчиков также включает в себя датчик тока и/или датчик напряжения для определения силы тока и/или напряжения между отдельными электродами 140a, 140b в ванне 114. Альтернативно или в дополнение к датчикам тока/напряжения блока 162 датчиков, источник 126 питания может включать в себя датчики тока и/или напряжения, которые затем подают сигналы обратной связи на контроллер 106. Конечно, могут быть применены датчики других типов сообразно отслеживаемым технологическим параметрам. На основе сигналов обратной связи контроллер 106 может модифицировать выходной сигнал электроосаждения (например, сигнал тока и/или напряжения) для повышения точности процесса электроосаждения с целью получения желательных состава и/или микроструктуры покрытия. Например, на основе сигналов обратной связи ПЛИС-схема 216 может управлять динамически, в режиме реального времени, схемой 208 синтезатора сигнала для регулирования амплитуды, частоты, смещения, нарастания, длины волны,

фазы, скорости, производной и/или другой характеристики сигнала с тем, чтобы точно контролировать процесс электроосаждения.

Информация о генерировании сигнала 224 электроосаждения может быть послана через набор команд. Например, в дополнение к включению инструкций для первоначального генерирования сигнала электроосаждения, который может быть любым сложным сигналом, набор команд также может включать инструкции для модифицирования, в режиме реального времени, параметров сигнала, таких как профиль сигнала, плотность тока и т.д. у сигнала 224 электроосаждения. Например, любая из характеристик профиля сигнала, такая как, например, форма волны, частота, амплитуда, смещение, нарастание, длина волны, фаза, скорость, производная или какие-то другие характеристики профиля сигнала, могут быть динамически изменены или модифицированы. Инструкции на изменение одного или более параметров сигнала, таких как профиль сигнала, плотность тока и т.д., могут основываться на заданной длительности во времени, основываться на выполняемой или подлежащей выполнению технологической стадии, основываться на обратной связи от датчиков процесса, и/или основываться на некоторой другой базе для модифицирования параметра сигнала. Например, набор команд может включать инструкции на применение сигнала синусоидальной формы в течение заданной длительности во времени (например, первой половины процесса осаждения, а затем применение прямоугольной волны в течение второй половины процесса осаждения). В дополнение, процесс электроосаждения может включать различные профили сигнала для некоторых или каждого из осаждаемых слоев покрытия. То есть набор команд может задавать тип профиля сигнала и/или плотность тока, используемые для каждого осаждаемого слоя, и по меньшей мере один из слоев может быть осажден с использованием сигнала, которая отличается от сигнала, применяемого для осаждения других слоев. В вариантах осуществления на основе набора команд ПЛИС-схема 216 надлежащим образом управляет схемой 208 синтезатора сигнала для создания сигнала, желательного для каждого осаждаемого слоя.

Кроме того, в некоторых вариантах осуществления ПЛИС-схема 216 выполнена так, что аналоговый сигнал 222 электроосаждения модифицируется на основе сигналов обратной связи процесса от, например, блока 162 датчиков. Например, на основе данных от блока 162 датчиков (которые могут относиться, например, к температурам процесса, концентрации электролита, уровню электролита, толщине покрытия, удельному сопротивлению покрытия, показаниям тока и/или напряжения между индивидуальными электродами и/или какой-то другой обратной связи процесса/системы), ПЛИС-схема 216 может управлять схемой 208 синтезатора сигнала для надлежащего корректирования плотности тока, профиля сигнала (например, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и т.д.) и/или любого другого параметра сигнала в отношении аналогового сигнала 222 электроосаждения.

После того как контроллер 106 генерировал аналоговый сигнал 222, аналоговый сигнал 222 затем выводится из выходной схемы 218 контроллера 106 и посылается, например, на вход источника 126 питания электроосаждения. Затем источник 126 питания электроосаждения генерирует выходной сигнал 224 электроосаждения на основе принятого аналогового сигнала 222. В вариантах осуществления источник 126 питания электроосаждения действует как усилитель, который точно отслеживает входной сигнал 222 или следует за входным сигналом 222 от контроллера 106 и выводит надлежащий сигнал 224 электроосаждения, который передается на электроды 140a, 140b в ванне 114. Профиль сигнала (например, частота, амплитуда, форма и т.д.) у выходного сигнала 224 электроосаждения соответствует профилю сигнала у аналогового сигнала 222 и обеспечивает должную плотность тока.

В некоторых вариантах осуществления для обеспечения того, что выходной сигнал 224 электроосаждения от источника питания электроосаждения соответствует аналоговому сигналу 222 от контроллера, контроллер учитывает возможности источника 126 питания электроосаждения. Например, при генерировании аналогового сигнала 222 контроллер 106 может учитывать один или более параметров сигнала, таких как, например, скорость нарастания, процент выброса и/или другой параметр сигнала, который может зависеть от характеристики источника 126 питания электроосаждения. То есть, в некоторых вариантах осуществления при генерировании сигнала с использованием схемы 208 синтезатора сигнала, инструкции относительно формы сигнала из набора команд исполняются с использованием известных характеристик источника 126 питания электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления эти характеристики являются общими для группы источников питания. Например, скорость нарастания, процент выброса или какая-то другая характеристика могут быть общими для всех источников питания конкретного типа, такого как, например, одинаковая модель, одинаковый изготовитель, одинаковая номинальная мощность или диапазон номинальной мощности, и/или какой-то другой отличительный признак для класса источников питания. Знание характеристик индивидуального источника питания электроосаждения и/или класса источников питания электроосаждения обеспечивает преимущества, не присущие контроллерам согласно уровню техники, поскольку контроллеры в вариантах осуществления по настоящему изобретению могут использовать информацию о характеристиках источников питания для точного контроля выходного сигнала электроосаждения от источника питания.

Информация, относящаяся к характеристикам индивидуальных источников питания и/или группе источников питания, может храниться в файлах драйверов источников питания, соответствующих инди-

видуальным источникам питания и/или группам источников питания. Файлы драйверов источников питания могут физически храниться, например, в базе 206 данных и/или в каких-то других местах. Файл драйвера источника питания функционирует подобно файлу драйвера принтера, который выдает информацию на преобразование печатаемых данных соответственно типу используемого принтера. В данном случае файл драйвера источника питания включает информацию о типе используемого источника питания или, более конкретно, характеристики применяемого источника питания. Например, файл драйвера источника питания может включать информацию о том, может ли источник 126 питания быть источником мощности прямой и/или обращенной волны, и/или может включать информацию относительно номинального выходного тока источника 126 питания. Информация о характеристиках может быть связана с индивидуальными источниками питания (например, посредством серийного номера источников питания) и/или связана с классом, к которому принадлежит источник питания (например, изготовитель, модель, диапазон выходной мощности, любое сочетание их и т.д.).

Программа генерации сигнала использует информацию в файле драйвера источника питания при генерировании сигнала электроосаждения на основе набора команд. Например, ПЛИС-схема 216 может модифицировать то, как она управляет схемой 208 синтезатора сигнала, на основе информации в файле драйвера источника питания. Файл драйвера источника питания обеспечивает то, что аналоговый сигнал 222 электроосаждения как можно сильнее соответствует сигналу, запрашиваемому в наборе команд, но также обеспечивает то, что аналоговый сигнал 222 электроосаждения не выходит за пределы возможностей источника 126 питания электроосаждения. Например, файл драйвера будет обеспечивать то, что такие параметры, как скорость нарастания и процентная доля выброса источника 126 питания электроосаждения, учитываются при генерировании аналогового сигнала 222 электроосаждения. Скорость нарастания может указывать программе генерации сигнала максимальные частоту и амплитуду, которые может выдавать источник 126 питания, и все еще оставаться внутри приемлемых пределов. Процентная доля выброса указывает отклик источника 126 питания электроосаждения на ступенчатое изменение во входном сигнале. При учете этих и других параметров сигнала информация в файле драйвера источника питания обеспечивает то, что существует минимальное искажение сигнала 224 электроосаждения во время процесса осаждения (например, малый или отсутствующий выброс или спад сигнала 224 электроосаждения). В дополнение, файл драйвера источника питания позволяет стандартизировать инструкции о форме сигнала в наборе команд для ряда источников питания. Например, единый контроллер 106 может управлять рядом источников питания, которые могут выдавать токи электроосаждения, например, от примерно 200 А до примерно 15000 кА. То есть, при использовании файла драйвера источника питания инструкции о форме сигнала в наборе команд могут быть общими в том отношении, что инструкции не рассчитаны точно на конкретный источник питания или класс источников питания. Кроме того, файл драйвера источника питания может включать информацию о максимальной скорости переключения и/или максимальной частоте дискретизации источника питания электроосаждения. В таких вариантах осуществления контроллер, который имеет более высокую частоту дискретизации, чем максимальная частота дискретизации источника питания электроосаждения, может снизить используемую частоту дискретизации для того, чтобы экономить ресурсы.

Одинаковые стандартизированные или общие инструкции могут быть использованы для источников питания различных типов, например, источников питания от различных изготовителей, различных моделей, различных номинальных мощностей и т.д. Например, набор команд может выдавать только стандартизированные или общие инструкции для формирования прямоугольной волны, и ПЛИС-схема 216 будет управлять схемой 208 синтезатора сигнала на основе файла драйвера для вывода аналогового сигнала 222 с правильными характеристиками, такими как, например, частота, амплитуда, скорость нарастания и т.д., для источника 126 питания электроосаждения, чтобы предотвращать нежелательное искажение выходного сигнала 224 электроосаждения, такое как, например, нежелательный выброс и/или спад в сигнале 224. В вариантах осуществления, если запрашиваемый в наборе команд сигнал превышает возможности источника 126 питания электроосаждения (например, запрашиваемые частота, амплитуда и т.д. находятся за пределами возможностей источника питания), информация в файле драйвера источника питания предупреждает контроллер 106 и, в конечном итоге, оператора о том, что запрошенный процесс осаждения не будет работать на данном оборудовании. В этом случае в некоторых вариантах осуществления ПЛИС-схема 216 выполнена с возможностью не осуществлять запрашиваемую операцию и/или останавливать процесс электроосаждения. В других дополнительных вариантах осуществления контроллер 106 принимает данные измерения выходного сигнала электроосаждения между комплектом электродов и сравнивает измеренный выходной сигнал, обеспечивая то, что выходной сигнал 224 электроосаждения от источника питания электроосаждения соответствует аналоговому сигналу 222 от контроллера.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 создает файл драйвера источника питания. Например, отклик источника 126 питания электроосаждения (например, скорость нарастания, процентная доля выброса и т.д.) может быть измерен в отношении тестового аналогового сигнала (например, "калибровочного" аналогового сигнала), который представляет собой выходной сигнал контроллера 106. Например, как видно на фиг. 3, на стадии 302 контроллер 106 принимает набор команд, который включает в себя инструкции на тестовый или калибровочный сигнал. В некоторых вариантах осуществления

тестовый(ые) или калибровочный(ые) сигнал или сигналы хранятся в контроллере 106, и контроллер 106 считывает хранимый калибровочный сигнал при выполнении процедуры калибровки. Тестовый или калибровочный сигнал может включать инструкции на генерирование сигнала, имеющего разнообразные подсекции, которые испытывают возможности источника питания электроосаждения. Каждая подсекция может иметь разную форму сигнала (например, синусоидальная, треугольная, прямоугольная волна и т.д.), разную частоту, разную амплитуду, разное смещение, разное нарастание, разную длину волны, разную фазу, разную скорость, разную производную и/или какое-то другое различие между подсекциями.

На стадии 304 известный шунтирующий резистор или другая известная нагрузка подключается на выходных клеммах испытуемого источника питания электроосаждения. На стадии 306 контроллер 106 генерирует сигнал, запрошенный в наборе команд, и выдает аналоговый сигнал 222 на вход испытуемого источника 126 питания электроосаждения. На стадии 308 желательные параметры, такие как, например, частота, амплитуда, скорость нарастания, процентная доля выброса и т.д., измеряются на выходе источника 126 питания электроосаждения, например, на шунтирующем резисторе или нагрузке. На стадии 310 измеренные параметры сравниваются с аналоговым сигналом 222, выданным контроллером 106, и выявляются для анализа любые различия/сходства в профилях сигнала 222 и сигнала 224 электроосаждения. На стадии 312, на основе анализа, например, по меньшей мере одной из частоты, амплитуды, скорости нарастания и процентной доли выброса создается файл драйвера источника питания и сохраняется, например, в базе 206 данных или каком-то другом месте для последующего использования контроллером 106. Как обсуждалось выше, контроллер 106 затем может использовать файл драйвера источника питания при генерировании аналогового сигнала 222 так, чтобы аналоговый сигнал 222 соответствовал характеристикам источника 126 питания. Файл драйвера источника питания может быть связан с конкретным испытуемым источником питания, например, на основе серийного номера и/или связан с классом источников питания, которые имеют аналогичную конструкцию, как и испытуемый источник питания.

Обсужденные выше варианты осуществления системы электроосаждения могут быть использованы, например, в системах обработки с барабаном, подвеской, корзиной и щетками. Однако, ради краткости, общий способ обработки электроосаждением проиллюстрирован на фиг. 4А-4С. Фиг. 4А-4С иллюстрируют высокоуровневый обзор процесса 400 электроосаждения с использованием контроллера (например, процесса электроосаждения, который позволяет сформировать слоистое нанопластинчатое покрытие из сплава, имеющее два или более периодических наноразмерных слоя, которые варьируются по электроосажденным веществам и/или электроосажденной структуре). Для целей краткости, описание приводится в отношении контроллера 106 и соответствующего ему оборудования. Однако специалистам в данной области техники будет понятно, что это описание также применимо к серии или ряду контроллеров, в том числе контроллерам 108 и 110. На стадии 410 оператор начинает электроосаждение либо дистанционно (например, с удаленного компьютера 102), либо локально у контроллера 106.

На стадии 412 оператор выбирает стандартизированный набор команд, используемый в процессе электроосаждения. Будучи выбранным, контроллер 106 может делать запрос на прием набора команд от удаленной управляющей станции 102, другого контроллера, и/или, если он хранится в контроллере, считывать набор команд, который соответствует выбранному процессу электроосаждения, из базы 206 данных. Как обсуждалось выше, набор команд включает инструкции для генерирования сигнала 224 электроосаждения на основе, например, последовательности стадий, осаждаемого наноразмерного слоя, осаждаемых веществ, осаждаемой структуры и/или обратной связи из процесса электроосаждения. Набор команд также может включать плотность тока, напряжение, фазу сигнала и/или другой параметр сигнала, используемый для процесса электроосаждения и/или каждой стадии процесса электроосаждения. В дополнение, набор команд может включать инструкции для управления другими устройствами (например, насосом 132, мешалкой 170, регулировочным клапаном 156 и т.д.).

Кроме того, как обсуждалось выше, информация в наборе команд находится в стандартизированном формате, так что единственный общий набор команд может быть использован с различными заготовками, источниками питания и т.д. На стадии 414 оператор вводит специфическую для процесса конфигурационную информацию о процессе осаждения. Введенная информация может быть информацией, относящейся к геометрической форме и/или размеру покрываемой заготовки (например, площадь поверхности), информацией, относящейся к источнику питания электроосаждения (например, номер модели, изготовитель, номинальная сила тока в амперах, скорость нарастания и т.д.), и информацией, относящейся к добавкам пополняющих химикатов (например, тип и/или количество добавляемых пополняющих химикатов, количество ампер-часов, при котором добавляются химикаты, концентрации химикатов, и т.д.). Конечно, оператор также может вводить любую другую желательную информацию, относящуюся к этому процессу. На стадии 416 контроллер производит корректировки стандартизированного набора команд на основе конкретной информации о процессе, введенной оператором на стадии 414. Например, исходя из введенной геометрической формы и/или площади заготовки, контроллер 106 может провести корректировки, например, профиля сигнала, длительности во времени и накопления ампер-часов, и/или какую-то другую корректировку, если это уместно, для шагов набора команд. На стадии 418 контроллер 106 исполняет шаги набора команд, которые показаны на фиг. 4В.

Как показано на фиг. 4В, контроллер 106 последовательно проводит технологические стадии про-

цесса осаждения. Для каждой из технологических стадий, на основе набора команд, контроллер 106 контролирует вещества и/или структуру осаждаемого слоя путем настройки и/или регулирования плотности тока, профиля сигнала электроосаждения, расхода, температуры процесса, уровня электролита, концентрации электролита, любого их сочетания и т.д. Число и характер шагов процесса в наборе команд могут варьировать в зависимости от типа процесса осаждения. Со ссылкой на фиг. 4В, на стадии 422 контроллер 106 считывает следующий шаг в наборе команд. На стадии 424а контроллер 106 настраивает выходной сигнал 224 источника 126 питания на электроды 140а, 140b. Например, исходя из геометрической формы заготовки 120 и/или другой информации в текущем шаге набора команд, контроллер 106 генерирует аналоговый сигнал 222 электроосаждения, имеющий, например, желательный профиль сигнала и желательную плотность тока, с использованием, например, обсуждаемых ниже алгоритмов формирования сигнала. Как обсуждалось выше, аналоговый сигнал 222 может иметь любой желательный профиль сигнала (например, на основе набора команд, контроллер 106 может генерировать любой профиль сложного сигнала путем модуляции или изменения в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и/или какого-то другого параметра сигнала). В некоторых вариантах осуществления при генерировании аналогового сигнала 222 контроллер 106 использует файл драйвера источника питания для источника 126 питания электроосаждения, чтобы обеспечивать соответствие аналогового сигнала 222 характеристикам источника 126 питания электроосаждения. Как обсуждалось выше, аналоговый сигнал 222 электроосаждения выводится из контроллера 106 на вход источника 126 питания электроосаждения. Источник 126 питания электроосаждения затем отслеживает и усиливает аналоговый сигнал 222 электроосаждения и выводит сигнал 224 электроосаждения, который соответствует аналоговому сигналу 222 электроосаждения.

Во время настройки выходного сигнала на стадии 424а контроллер 106 одновременно выполняет стадию 424b, на которой отслеживаются стадии процесса и/или сигналы обратной связи процесса от блока 162 датчиков, относящиеся, например, к температуре электролита, уровню электролита, концентрации электролита, толщине слоев покрытия, удельному сопротивлению покрытия, показаниям тока и/или напряжения между индивидуальными электродами, и/или какой-то другой обратной связи процесса/системы. Во время стадии 424b контроллер 106 исполняет стадии, показанные на фиг. 4С. Во время стадии 432 на фиг. 4С контроллер 106 принимает сигналы обратной связи процесса, как обсуждалось выше. Например, на стадии 432 контроллер 106 и/или контроллер 150 ванны могут принимать сигналы обратной связи, такие как удельное сопротивление покрытия, температура электролита или химические параметры процесса, такие как концентрация электролита, и т.д. В дополнение, на стадии 434 накопленные ампер-часы для источника 126 питания принимаются от источника 126 питания или рассчитываются контроллером 106. Накопленные ампер-часы могут быть использованы для управления различным оборудованием в процессе осаждения. Например, накопленные ампер-часы могут быть использованы для управления насосом 132, чтобы добавлять некоторые пополняющие химикаты, применяемые в процессе электроосаждения. В дополнение, накопленные ампер-часы и сигналы обратной связи процесса о химических характеристиках могут быть использованы для определения толщины покрытия.

На стадии 436, на основе инструкций в наборе команд и/или отслеженных сигналов обратной связи и/или расчетов со стадий 432 и 434, контроллер 106 определяет, должен ли сигнал 224 электроосаждения оставаться прежним, быть переключен (например, на предзагруженный сигнал) или быть модифицирован или же должен ли быть создан полностью новый сигнал специальной формы. Например, если определено, что нужно сохранить тот же самый сигнал, контроллер 106 продолжает генерировать текущий аналоговый сигнал 222 электроосаждения. Если определено, что нужно переключение сигнала, контроллер 106 производит переключение на иной аналоговый сигнал электроосаждения (например, на предзагруженный сигнал, такой как стандартная синусоидальная волна, прямоугольная волна, треугольная волна и т.д.). Если определено, что нужно модифицирование сигнала, контроллер 106 модифицирует текущий аналоговый сигнал 222 электроосаждения с использованием, например, обсуждаемых ниже примеров алгоритмов формирования сигнала и/или другого алгоритма, а если определено, что нужно создание нового сигнала специальной формы, то контроллер создает новый сигнал 222 электроосаждения с использованием, например, обсуждаемых ниже алгоритмов формирования сигнала и/или другого алгоритма.

Как только завершена стадия 436, контроллер возвращается к стадии 424b и переходит к стадии 426. На стадии 426 контроллер определяет, были ли удовлетворены критерии для завершения текущей технологической стадии. Например, критерии для завершения текущей технологической стадии могут основываться на количестве времени, в течение которого система была в данной стадии, накопленных ампер-часах, химических параметрах процесса, расчетной толщине покрытия и/или каких-то других критериях. Если критерии не были удовлетворены, контроллер 106 возвращается к стадии 424b. Если критерии были удовлетворены, контроллер 106 переходит к стадии 428. На стадии 428 контроллер 106 проверяет, есть ли еще дополнительные технологические стадии или нет. Если да, то контроллер возвращается к стадии 422 и начинает следующую стадию. Если же дополнительных стадий нет, то контроллер возвращается на стадию 418 фиг. 4А и переходит к стадии 420 для остановки процесса. Конечно, контроллер 106 может быть сконфигурирован так, что процесс также может быть прерван в любое время, напри-

мер, вследствие введенной вручную команды на остановку, сигнала обратной связи, сигнала об ошибке и т.д.

Как обсуждалось выше, алгоритмы формирования сигнала могут быть использованы для создания начального аналогового сигнала 222 электроосаждения и/или для последующего изменения или модифицирования аналогового сигнала 222 электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления для генерирования аналогового сигнала 222 электроосаждения контроллер 106 включает в себя циклический алгоритм формирования сигнала, который инициирует вложенную контрольную последовательность циклического типа для генерирования сигнала, который образует, по меньшей мере отчасти, аналоговый сигнал 222 электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления для генерирования аналогового сигнала 222 электроосаждения контроллер 106 включает в себя алгоритм формирования сигнала второго порядка, который сочетает в себе характеристики двух или более базовых сигналов, или сигналов первого порядка, для генерирования сигнала второго порядка, который образует, по меньшей мере отчасти, аналоговый сигнал 222 электроосаждения. В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 включает в себя как циклический алгоритм формирования сигнала, так и алгоритм формирования сигнала второго порядка для генерирования сигнала, который образует, по меньшей мере отчасти, аналоговый сигнал 222 электроосаждения.

Во вложенной контрольной последовательности циклического типа циклического алгоритма формирования сигнала выходной сигнал генерируется с использованием, например, схемы 208 синтезатора сигнала для последовательного комбинирования (или следования) последовательностей подсигналов (например, последовательного объединения различных сигналов или участков различных сигналов) и затем повторения этих последовательных стадий для получения одного полного цикла аналогового сигнала 222 электроосаждения. Полный цикл сигнала, который включает вложенные циклы подсигналов, затем может быть повторен или выполнен циклически, как желательно (например, вложенная контрольная последовательность циклического типа может быть повторена или выполнена циклически на протяжении заданного числа циклов, в течение заданного периода времени, для данной технологической стадии или стадий, и/или непрерывно до остановки, на основе, например, сигнала обратной связи процесса от блока 162 датчиков (например, толщины покрытия, сопротивления покрытия, концентрации электролита или какого-то другого сигнала обратной связи), и/или команды на остановку процесса осаждения. В некоторых вариантах осуществления ПЛИС-схема 216 выполнена с возможностью управления схемой 208 синтезатора сигнала так, что подсигналы генерируются желательное число раз и в желательном порядке следования для генерирования полного аналогового сигнала 222 электроосаждения. Например, если требуется аналоговый сигнал 222 электроосаждения, который имеет три цикла синусоидальных волн с последующими двумя циклами волн треугольной формы, ПЛИС-схема 216 может быть выполнена с возможностью управления схемой 208 синтезатора сигнала так, что генерируются три цикла синусоидального подсигнала, а затем сразу же генерируются два цикла подсигнала треугольной формы для создания одного полного цикла аналогового сигнала 222 электроосаждения. Затем ПЛИС-схема 216 повторяет или выполняет циклически полный цикл генерирования сигнала, который включает вложенные циклы генерирования подсигналов, как желательно. Конечно, тип и число циклов подсигналов и порядок следования подсигналов не ограничивается вышеуказанным вариантом осуществления, и могут быть использованы любые желательные тип подсигналов, счет циклов подсигналов и порядок следования подсигналов. В дополнение, типы подсигналов, счет циклов подсигналов и/или порядок следования подсигналов, используемые в аналоговом сигнале 222 электроосаждения, могут быть изменены динамически контроллером 106 на основе технологической стадии, сигнала обратной связи от блока 162 датчиков, заданного периода времени, заданного счета циклов и т.д. Например, обсужденный выше сигнал синусоидальной/треугольной формы может быть изменен на сигнал с синусоидальной/прямоугольной формой волны на основе заданных критериев, относящихся, например, к концентрации электролита, уровню электролита, температуре электролита, толщине покрытия, сопротивлению покрытия, технологической стадии, заданному периоду времени, числу циклов, любому их сочетанию и т.д.

В дополнение к циклическому алгоритму формирования сигнала, контроллер 106 также может включать алгоритм формирования сигнала второго порядка. Алгоритм формирования сигнала второго порядка модулирует одну или более характеристик (например, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость, производную или какую-то другую характеристику сигнала) базового сигнала или сигнала первого порядка с использованием характеристик (например, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и/или какой-то другой характеристики сигнала) одного или более дополнительных сигналов первого порядка для генерирования желательного выходного сигнала (или сигнала второго порядка). Алгоритм модуляции может включать в себя, например, функции суммирования, функции вычитания, функции умножения и/или какую-то другую функциональную взаимосвязь между упомянутыми одной или более характеристиками базового сигнала первого порядка и характеристиками упомянутых одного или более дополнительных сигналов первого порядка для модифицирования базового сигнала первого порядка и генерирования сигнала второго порядка.

Модуляция характеристик(и) базового сигнала первого порядка может быть селективной в том от-

ношении, что изменению подвергаются не все из характеристик базового сигнала. Например, может быть изменена только амплитуда базового сигнала первого порядка, тогда как остальные характеристики, такие как, например, частота, смещение и т.д., не модифицируются. Функциональная взаимосвязь может быть между характеристиками, которые являются одинаковыми среди сигналов (например, амплитуды с амплитудой, частоты с частотой, смещения со смещением и т.д.). Например, амплитуда A_1 базового сигнала первого порядка может быть модифицирована с использованием информации о (например, величине и/или полярности) амплитуды A_2 другого сигнала первого порядка для генерирования сигнала второго порядка с амплитудой A_3 , которая может, например, составлять $c_1A_1+c_2A_2$, $c_1A_1-c_2A_2$, $c_1A_1 \times c_2A_2$, c_1A_1/c_2A_2 (где c_1 и c_2 - постоянные), или быть какой-то другой функциональной взаимосвязью. Частота, смещение или другая волновая характеристика базового сигнала первого порядка может быть подобным же образом модулирована с использованием соответственной такой же характеристики других сигналов. Однако функциональная взаимосвязь также может быть между характеристиками сигналов, которые не являются одинаковыми. Например, амплитуда базового сигнала первого порядка может быть модифицирована с использованием частоты или какой-то иной характеристики, нежели амплитуда другого сигнала первого порядка, для генерирования сигнала второго порядка. Функциональная взаимосвязь может иметь взаимно однозначное соответствие характеристик, при котором одна характеристика (например, амплитуда) базового сигнала первого порядка модулируется одной характеристикой (например, частотой) другого сигнала первого порядка. Однако функциональная взаимосвязь не должна быть обязательно взаимно однозначной взаимосвязью характеристик. Например, амплитуда сигнала первого порядка может быть использована для модифицирования как амплитуды, так и частоты базового сигнала первого порядка с генерированием сигнала второго порядка, или же как амплитуда, так и частота сигнала первого порядка могут быть использованы для модифицирования лишь амплитуды (или другой характеристики) базового сигнала первого порядка с генерированием сигнала второго порядка. То есть одна или более волновых характеристик базового сигнала первого порядка могут быть модифицированы на основе одной или более характеристик другого сигнала первого порядка для генерирования сигнала второго порядка.

В вышеуказанных вариантах осуществления "базовый" сигнал первого порядка сам может представлять собой комбинацию двух или более сигналов первого порядка. Соответственно, любая комбинация характеристик сигналов первого набора из одного или более сигналов первого порядка может быть использована для модифицирования любой комбинации характеристик сигналов второго набора из одного или более сигналов первого порядка при генерировании сигнала второго порядка. Полученные сигналы второго порядка могут быть периодическими или непериодическими и могут быть результатом модуляции одного и того же типа сигналов первого порядка (например, двух или более сигналов синусоидальной формы, двух или более сигналов прямоугольной формы, двух или более сигналов треугольной формы и т.д.) или могут быть результатом модуляции двух или более различных типов сигналов (например, одного или более сигналов синусоидальной формы с одной или более прямоугольными волнами или одной или более треугольными формами сигналов и т.д.). В некоторых вариантах осуществления текущий аналоговый сигнал 222 электроосаждения представляет собой базовый сигнал первого порядка, который затем модулируется с использованием характеристик одного или более других сигналов первого порядка для генерирования нового аналогового сигнала 222 электроосаждения.

Модуляция сигнала первого порядка на основе характеристик другого сигнала первого порядка для генерирования сигнала второго порядка графически проиллюстрирована на фиг. 5А. Фиг. 5А иллюстрирует сигнал 506 второго порядка, который был сгенерирован с использованием двух сигналов 502 и 504 первого порядка. Вторичный сигнал 506 может быть либо сигналом напряжения, либо сигналом тока. В варианте осуществления по фиг. 5А базовый сигнал 504 первого порядка модулирован с использованием характеристик другого сигнала 502 первого порядка для генерирования сигнала 506 второго порядка. Базовый сигнал 504 первого порядка представляет собой синусоидальный колебательный сигнал, имеющий, например, частоту F_1 и амплитуду A_1 . Однако сигнал 504 может иметь любой желательный профиль сигнала. Во время процесса осаждения контроллер 106 может определять, что текущий аналоговый сигнал 222 электроосаждения (который может быть сигналом 504) должен быть переключен, например, на предзагруженный сигнал, или модифицирован, или что должен быть создан полностью новый аналоговый сигнал 222 электроосаждения, поскольку, например, этого требует текущая технологическая стадия и/или сигнал(ы) обратной связи от блока 162 датчиков. Если определено, что аналоговый сигнал 222 должен быть модифицирован или должен быть создан новый сигнал, контроллер 106 может генерировать сигнал 506 второго порядка с использованием характеристик базового сигнала 504 первого порядка и другого сигнала 502 первого порядка. Тогда сигнал 506 второго порядка будет представлять собой новый аналоговый сигнал 222 электроосаждения, который затем может быть передан на источник 126 питания электроосаждения, как обсуждалось выше.

Как видно в варианте осуществления по фиг. 5А, сигнал 506 второго порядка сгенерирован модифицированием амплитуды A_1 базового сигнала 504 первого порядка на основе абсолютной величины амплитуды A_2 сигнала 502 первого порядка. В этом примере частота F_1 сигнала 504 первого порядка остается неизменной. Таким образом, в этом примере после такого модифицирования генерируется синусо-

соидальный сигнал 504 второго порядка, имеющий частоту F_1 и амплитуду $(A_1+|A_2|)$. То есть сигнал второго порядка совершает колебания на фиксированной частоте, но с вариацией амплитуды во времени. Конечно, для генерирования сигнала второго порядка может быть использована любая комбинация волновых характеристик упомянутых двух или более сигналов первого порядка. Например, в еще одном варианте осуществления сигнал второго порядка имеет частоту, которая варьирует, и амплитуду, которая остается той же самой. Динамическим изменением профиля сигнала второго порядка (например, сочетания частоты, амплитуды, формы волны, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной и т.д.) тока и/или напряжения, подаваемых во время электрохимического осаждения, корректируют и/или стимулируют вариации в составе и/или микроструктуре наноламинатного многослойного покрытия.

Сигналы 502, 504 первого порядка могут представлять собой "шаблонные сигналы", которые хранятся в контроллере 106 или другом месте. Контроллер 106 может иметь множество шаблонных сигналов первого порядка, которые предназначены для упрощения генерации сигналов второго порядка, соответствующих конкретным технологическим стадиям и/или конкретным процессам осаждения. Например, первый набор шаблонных сигналов может быть полезным при генерировании сигналов второго порядка для осаждения первого слоя покрытия, а второй набор шаблонных сигналов может быть полезным при генерировании сигналов второго порядка для осаждения другого слоя покрытия в процессе осаждения. Контроллер 106 может быть выполнен с возможностью применения надлежащего набора шаблонных сигналов на основе, например, типа процесса осаждения, выполняемой стадии процесса и/или сигнала(-ов) обратной связи от блока 162 датчиков.

За счет внедрения одного или обоих из циклического алгоритма формирования сигналов и/или алгоритма формирования сигналов второго порядка, варианты осуществления контроллера 106 способны создавать сложные сигналы, которые являются весьма сложными, как показано на фиг. 5B. Как видно на фиг. 5B, сигнал 510 электроосаждения включает участки синусоидальной формы, участки треугольной формы и участки прямоугольной формы волны с различными частотами, амплитудами и смещениями. Системы электроосаждения согласно уровню техники не способны динамически создавать или последовательно модифицировать такие сложные сигналы электроосаждения.

Хотя в вышеуказанных вариантах осуществления показан один аналоговый сигнал 222 электроосаждения, выдаваемый из контроллера 106, схема 208 синтезатора сигнала и связанные с ней схемы могут давать множество аналоговых сигналов электроосаждения, каждый из которых может быть подан через отдельную выходную схему 218 контроллера на соответствующие источники питания электроосаждения, которые генерируют соответственные сигналы электроосаждения. Например, в некоторых вариантах осуществления контроллер 106 выдает до восьми аналоговых сигналов. Конечно, в зависимости от применения, контроллер 106 может быть выполнен с возможностью создания более чем восьми аналоговых сигналов. Поскольку ПЛИС-схема 216 может обеспечивать параллельную обработку, управляющие схемы в ПЛИС-схеме 216 могут быть выполнены с возможностью одновременного и независимого управления схемой 208 синтезатора сигнала для того, чтобы генерировать каждый из различных сигналов электроосаждения. Все аналоговые сигналы электроосаждения могут быть одинаковыми, различными между собой или быть любым их сочетанием.

Множество сигналов электроосаждения могут быть переданы на соответствующие комплекты электродов, которые размещены в одной и той же ванне, в соответственно различных ваннах или в любой их комбинации. Например, как показано на фиг. 2B, источник 126' питания электроосаждения соединен с первым комплектом электродов 140a, 140b, а источник 126" питания электроосаждения соединен со вторым комплектом электродов 140a, 140c. Контроллер 106 генерирует аналоговые сигналы электроосаждения, которые затем передаются на соответствующие источники 126' и 126" питания, и тем самым управляет сигналами электроосаждения, передаваемыми на электродные комплекты. В некоторых вариантах осуществления контроллер 106 одновременно и независимо управляет волновыми параметрами индивидуальных сигналов электроосаждения, передаваемых на электродные комплекты (например, чтобы учитывать вариации процесса). Например, в некоторых вариантах осуществления контроллер 106 выполнен с возможностью одновременного и независимого управления плотностью тока, напряжением, фазой волны или их сочетанием у сигнала электроосаждения от источника 126' питания на комплект электродов 140a, 140b и управления плотностью тока, напряжением, фазой волны или их сочетанием у сигнала электроосаждения от источника 126" питания на комплект электродов 140a, 140c в ванне 114 электрохимической обработки.

За счет управления плотностями тока, напряжениями и/или фазами волн соответствующих сигналов электроосаждения процесс осаждения на заготовку 120 может быть скорректирован или модифицирован для компенсации вариаций в процессе электроосаждения на заготовку 120. Например, вариации концентрации электролита (например, от одного конца заготовки 120 до другого конца, от концов к середине заготовки 120, или вариации в процессе вследствие каких-то иных причин) могут быть компенсированы индивидуальным регулированием плотности тока, напряжения и/или фазы волны соответствующего сигнала электроосаждения, передаваемого на комплект электродов 140a, 140b и 140a, 140c. Эти вариации могут быть зарегистрированы одним или более датчиками, например, в блоке 162 датчиков

и/или возникновение этих вариаций может быть известным теоретически и/или в результате последующего анализа заготовки. За счет компенсации этих вариаций слои покрытия по всей заготовке 120 могут быть осаждены равномерно или могут быть осаждены с любым желательным профилем наложения.

Плотности тока, напряжения и/или фазы волн соответственно между соответствующими сигналами электроосаждения могут быть одинаковыми или различными. Конечно, управление множественными электродными комплектами контроллером 106 не ограничивается электродными комплектами в единственной ванне. В других вариантах осуществления контроллер управляет множеством сигналов электроосаждения от соответствующих источников питания на один или более комплектов электродов в различных ваннах (например, в системах, где каждая ванна имеет свою собственную заготовку (например, смотри фиг. 1) и/или в системах, где заготовка или заготовки переносятся из одной ванны в другую во время процесса электроосаждения). В таких системах контроллер надлежащим образом управляет плотностью тока, напряжением и/или фазой волны каждого сигнала электроосаждения на соответствующих электродных комплектах для того, чтобы обеспечивать наличие желательного профиля слоев на заготовке(-ах), переносимых из ванны в ванну и/или в соответствующие ванны. Конечно, регулировки плотности тока, напряжений и/или фаз сигналов между электродными комплектами могут быть в дополнение к обсужденным выше регулировкам профиля сигнала электроосаждения и плотности тока. То есть, наряду с модуляцией аналогового сигнала 222 электроосаждения на основе технологической стадии и/или сигнала(ов) обратной связи, как обсуждалось выше, в тех системах, которые подают более чем один аналоговый сигнал электроосаждения на более чем один комплект электродов, аналоговый сигнал 222 электроосаждения может быть дополнительно скорректирован на основе вариаций в процессе между электродными комплектами.

В вышеуказанных вариантах осуществления, которые включают в себя множество электродных комплектов, контроллер 106 был выполнен с возможностью генерирования более чем одного аналогового сигнала электроосаждения, соответствующего каждому из электродных комплектов. Однако множественные контроллеры, которые сообщаются между собой, например, по сети 104 (см. фиг. 1), также могут обеспечивать такую же функциональность в корректировании вариаций в процессе электроосаждения. То есть контроллеры 106, 108, 110 могут сообщаться друг с другом для надлежащего регулирования процесса электроосаждения в соответствующих ваннах 114, 116, 118, чтобы корректировать вариации в процессе осаждения, как обсуждалось выше.

В дополнение, наряду с регулированием сигнала, ПЛИС-схема 216 контроллера 106 может быть выполнена с возможностью одновременного управления другими технологическими устройствами, такими как, например, насос 132, мешалка 170, регулировочный клапан 156 и т.д. Поскольку ПЛИС-схема 216 может обеспечивать параллельную обработку, управляющие схемы в ПЛИС-схеме 216 могут быть выполнены с возможностью одновременного и независимого управления каждым из различных сигналов электроосаждения и/или другими управляющими функциями, без неблагоприятного влияния на способность контроллера 106 обрабатывать в режиме реального времени.

Нижеследующие варианты осуществления входят в пределы объема раскрытого изобретения:

1. Система для осаждения слоистого наноламинатного сплава, содержащая

одну или более ванн электрохимической обработки, причем каждая ванна электрохимической обработки имеет один или более комплектов электродов для применения при осаждении многослойных наноламинатных покрытий или плакировок на одну или более подложек;

один или более источников питания электроосаждения, причем каждый источник питания соответственно соединен с соответствующим электродным комплектом одного или более комплектов электродов, причем каждый источник питания имеет аналоговое входное соединение для приема сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, выводимому из источника питания, причем каждый источник питания выполнен с возможностью усиления принятого сложного аналогового сигнала для генерирования желательного сигнала электроосаждения и передачи этого желательного сигнала электроосаждения на соответствующий электродный комплект в одном или более комплектах электродов, причем каждый желательный сигнал электроосаждения от соответствующего источника питания вызывает осаждение по меньшей мере одного слоя многослойных наноламинатных покрытий или плакировок на соответствующую подложку; и

контроллер на базе процессора, имеющий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования каждого сложного аналогового сигнала, передаваемого на аналоговый вход соответствующего источника питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала, причем схема управления синтезатором на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с информацией, относящейся к осаждению многослойных наноламинатных покрытий или плакировок, управляет генерированием соответствующего сложного аналогового сигнала путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала, и одну или более выходных схем контроллера, соответственно соединенных с аналоговым входом каждого источника питания электроосаждения, причем каждая выходная схема контроллера выполнена с возможностью переда-

чи соответствующего сложного аналогового сигнала на аналоговый вход каждого источника питания электроосаждения.

2. Система по варианту 1, причем схема управления синтезатором включает в себя программируемую пользователем логическую матрицу.

3. Система по варианту 1, причем набор команд хранится в контроллере на базе процессора, и причем набор команд включает инструкции для генерирования соответствующего сигнала электроосаждения, причем инструкции включают в себя по меньшей мере одно из плотности тока, профиля сигнала тока и профиля сигнала напряжения у соответствующего сигнала электроосаждения.

4. Система по варианту 1, причем один или более комплектов электродов включает в себя катод и один, два, три, четыре или более анодов, и причем контроллер на базе процессора передает желательный сигнал электроосаждения на один или более комплектов электродов.

5. Система по варианту 1, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя модуляцию одной или более первых характеристик базового сигнала первого порядка с использованием одной или более вторых характеристик по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой и второй характеристиками для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала.

6. Система по варианту 5, причем базовый сигнал первого порядка и по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбираются из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

7. Система по варианту 6, причем с контроллером на базе процессора соединены два или более источника питания электроосаждения, и причем эти источники питания управляют индивидуальными участками катодной шины вдоль длины отдельных участков в одной или более ваннах электрохимической обработки.

8. Система по варианту 5, причем первые характеристики базового сигнала первого порядка и вторые характеристики одного или более других сигналов первого порядка включают форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость или производную соответствующего сигнала первого порядка.

9. Система по варианту 5, причем базовым сигналом первого порядка является соответствующий сложный аналоговый сигнал, и причем упомянутый по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбирается из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

10. Система по варианту 1, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования соответствующего сложного аналогового сигнала.

11. Система по варианту 10, причем последовательное комбинирование последовательностей подсигналов включает в себя генерирование подсигналов для желательного числа счетов циклов и в желательном порядке следования.

12. Система по варианту 11, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируется на основе по меньшей мере одного из заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, стадии процесса осаждения наноламинатных покрытий или плакировок и сигнала обратной связи, относящегося к осаждению наноламинатных покрытий или плакировок.

13. Система по варианту 12, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируется на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится по меньшей мере к одному из концентрации электролита, уровня электролита, температуры электролита, толщины покрытия и сопротивления покрытия.

14. Система по варианту 1, причем контроллер на базе процессора дополнительно включает в себя схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, и входную коммуникационную схему, функционально соединенную со схемой сетевых коммуникаций и предназначенную для приема набора команд от удаленного вычислительного устройства.

15. Система по варианту 14, дополнительно содержащая один или более других контроллеров на базе процессора, соединенных с внешней коммуникационной сетью,

причем контроллер на базе процессора соединен с одним или более другими контроллерами на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть и каждый из контроллеров на базе процессора представляет собой узел на внешней коммуникационной сети; и

причем набор команд от удаленного вычислительного устройства принимается каждым из узлов внешней коммуникационной сети.

16. Система по варианту 14, дополнительно содержащая один или более других контроллеров на базе процессора, соединенных с внешней коммуникационной сетью,

причем контроллер на базе процессора соединен с одним или более другими контроллерами на базе

процессора через внешнюю коммуникационную сеть и каждый из контроллеров на базе процессора представляет собой узел на внешней коммуникационной сети; и

причем контроллер на базе процессора дополнительно выполнен с возможностью передачи инструкций или части инструкций в наборе команд одному или более другим контроллерам на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть.

17. Система по варианту 2, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью генерирования множества сложных аналоговых сигналов и программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

18. Система по варианту 17, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью регулирования по меньшей мере одного из плотности тока, напряжения и фазы волны соответствующего желательного сигнала электроосаждения, чтобы компенсировать вариации при осаждении нанопластинчатых покрытий или плакировок на соответствующую подложку.

19. Система по варианту 1, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью использования файла драйвера источника питания, соответствующего по меньшей мере одному из одного или более источников питания электроосаждения, чтобы учитывать по меньшей мере одну характеристику по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения.

20. Система по варианту 19, причем упомянутая по меньшей мере одна характеристика включает по меньшей мере одно из скорости нарастания и процента выброса.

21. Система по варианту 19, причем файл драйвера источника питания основан на процедуре калибровки, выполняемой контроллером на базе процессора по меньшей мере на одном из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, и причем процедура калибровки включает в себя передачу калибровочного аналогового сигнала на по меньшей мере один из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, размещение известной нагрузки на выходных клеммах по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, измерение по меньшей мере одного из скорости нарастания и процента выброса по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, и создание файла драйвера источника питания с использованием, по меньшей мере отчасти, измеренных результатов процедуры калибровки.

22. Система по варианту 1, дополнительно содержащая один или более контроллеров автоматизации ванны для управления по меньшей мере одним из уровня электролита, температуры электролита, скорости перемешивания и расхода в соответствующей ванне электрохимической обработки.

23. Контроллер для процесса электроосаждения, содержащий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, выводимому из источника питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала, причем схема управления синтезатором на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с информацией, относящейся к процессу осаждения, управляет генерированием сложного аналогового сигнала путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала; и

выходную схему контроллера, выполненную с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на аналоговый вход источника питания электроосаждения.

24. Контроллер по варианту 23, причем схема управления синтезатором включает в себя программируемую пользователем логическую матрицу.

25. Контроллер по варианту 23, причем набор команд включает в себя инструкции для генерирования сигнала электроосаждения, и причем инструкции включают в себя по меньшей мере одно из плотности тока, профиля сигнала тока и профиля сигнала напряжения у сигнала электроосаждения.

26. Контроллер по варианту 23, причем набор команд хранится в контроллере.

27. Контроллер по варианту 23, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя модуляцию одной или более первых характеристик базового сигнала первого порядка с использованием одной или более вторых характеристик по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой(ыми) и второй(ыми) характеристиками для генерирования сложного аналогового сигнала.

28. Контроллер по варианту 27, причем базовый сигнал первого порядка и упомянутый по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбираются из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере.

29. Контроллер по варианту 28, причем множество предзагруженных сигналов включает в себя сигнал треугольной формы, синусоидальную волну, прямоугольную волну или сигнал специальной формы.

30. Контроллер по варианту 27, причем первые характеристики базового сигнала первого порядка и

вторые характеристики упомянутого по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка включают в себя форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость или производную соответствующего сигнала первого порядка.

31. Контроллер по варианту 27, причем базовым сигналом первого порядка является сложный аналоговый сигнал, и причем упомянутый по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбирается из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере.

32. Контроллер по варианту 23, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования сложного аналогового сигнала.

33. Контроллер по варианту 32, причем последовательное комбинирование последовательностей подсигналов включает в себя генерирование подсигналов для желательного числа счетов циклов и в желательном порядке следования.

34. Контроллер по варианту 33, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируется на основе по меньшей мере одного из заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, технологической стадии процесса электроосаждения и сигнала обратной связи, относящегося к процессу электроосаждения.

35. Контроллер по варианту 34, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируется на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится по меньшей мере к одному из концентрации электролита, уровня электролита, температуры электролита, толщины покрытия и сопротивления покрытия.

36. Контроллер по варианту 23, причем контроллер дополнительно включает в себя схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, и входную коммуникационную схему, функционально соединенную со схемой сетевых коммуникаций и предназначенную для приема набора команд от удаленного вычислительного устройства.

37. Контроллер по варианту 36, причем контроллер соединен с одним или более другими контроллерами через внешнюю коммуникационную сеть и каждый из контроллеров представляет собой узел на внешней коммуникационной сети.

38. Контроллер по варианту 37, причем контроллер дополнительно выполнен с возможностью передачи инструкций или части инструкций в наборе команд одному или более другим контроллерам через внешнюю коммуникационную сеть.

39. Контроллер по варианту 24, причем контроллер выполнен с возможностью генерирования множества сложных аналоговых сигналов, соответствующего множеству сигналов электроосаждения, и причем программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

40. Контроллер по варианту 39, причем контроллер выполнен с возможностью регулирования по меньшей мере одного из плотности тока, напряжения и фазы волны соответствующего сигнала электроосаждения, чтобы компенсировать вариации в процессе электроосаждения.

41. Контроллер по варианту 23, причем контроллер выполнен с возможностью использования файла драйвера источника питания, соответствующего по меньшей мере одному из одного или более источников питания электроосаждения, чтобы учитывать по меньшей мере одну характеристику по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения.

42. Контроллер по варианту 41, причем упомянутая по меньшей мере одна характеристика включает по меньшей мере одно из скорости нарастания и процента выброса.

43. Контроллер по варианту 41, причем файл драйвера источника питания основан на процедуре калибровки, выполняемой контроллером на по меньшей мере одном из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, и причем процедура калибровки включает в себя передачу калибровочного аналогового сигнала на по меньшей мере один из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, размещение известной нагрузки на выходных клеммах по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, измерение по меньшей мере одного из скорости нарастания и процента выброса по меньшей мере одного из упомянутых одного или более источников питания электроосаждения, и создание файла драйвера источника питания с использованием, по меньшей мере отчасти, измеренных результатов процедуры калибровки.

44. Способ электроосаждения покрытия или плакировки на подложку, включающий выбор стандартизированного набора команд, соответствующего желательному процессу электроосаждения;

корректирование стандартизированного набора команд на основе информации, относящейся по меньшей мере к одному из геометрической формы подложки, площади поверхности подложки и источника питания электроосаждения, используемого для электроосаждения покрытия или плакировки на подложку;

генерирование сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электро-

осаждения, на основе скорректированного набора команд;

подачу сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения;

генерирование сигнала электроосаждения в источнике питания на основе сложного аналогового сигнала;

выведение сигнала электроосаждения из источника питания на соответствующий подложке электродный комплект;

осаждение наноламинатных покрытий или плакировок на подложку на основе сигнала электроосаждения,

причем выведение включает в себя модуляцию в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд с информацией, относящейся к осаждению наноламинатных покрытий или плакировок.

45. Способ по варианту 44, причем генерирование сложного аналогового сигнала включает в себя формирование сложного аналогового сигнала с использованием программируемой пользователем логической матрицы.

46. Способ по варианту 44, причем набор команд включает в себя инструкции для генерирования сигнала электроосаждения, и причем инструкции включают в себя по меньшей мере одно из плотности тока, профиля сигнала тока и профиля сигнала напряжения у сигнала электроосаждения.

47. Способ по варианту 44, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя модуляцию одной или более первых характеристик базового сигнала первого порядка с использованием одной или более вторых характеристик по меньшей мере одного другого сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой(ыми) и второй(ыми) характеристиками для генерирования сложного аналогового сигнала.

48. Способ по варианту 47, причем базовый сигнал первого порядка и упомянутый по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбирают из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

49. Способ по варианту 48, причем множество предзагруженных сигналов включает в себя волну треугольной формы, синусоидальную волну, прямоугольную волну или сигнал специальной формы.

50. Способ по варианту 47, причем первые характеристики базового сигнала первого порядка и вторые характеристики одного или более других сигналов первого порядка включают форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость или производную соответствующего сигнала первого порядка.

51. Способ по варианту 47, причем базовым сигналом первого порядка является сложный аналоговый сигнал, и причем по меньшей мере один другой сигнал первого порядка выбирают из множества предзагруженных сигналов.

52. Способ по варианту 44, причем модуляция в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости и производной сложного аналогового сигнала включает в себя последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования сложного аналогового сигнала.

53. Способ по варианту 52, причем последовательное комбинирование последовательностей подсигналов включает в себя генерирование подсигналов для желательного числа счетов циклов и в желательном порядке следования.

54. Способ по варианту 53, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируют на основе по меньшей мере одного из заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, стадии процесса осаждения покрытий или плакировок и сигнала обратной связи, относящегося к осаждению покрытий или плакировок.

55. Способ по варианту 54, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов динамически модифицируют на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится по меньшей мере к одному из концентрации электролита, уровня электролита, температуры электролита, толщины покрытия и сопротивления покрытия.

56. Способ по варианту 45, дополнительно включающий генерирование множества сложных аналоговых сигналов, причем программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

57. Способ по варианту 44, причем генерирование сложного аналогового сигнала учитывает по меньшей мере одну характеристику источника питания электроосаждения.

58. Способ по варианту 57, причем упомянутая по меньшей мере одна характеристика включает по меньшей мере одно из скорости нарастания и процента выброса.

59. Система, содержащая

ванну электрохимической обработки;

комплект электродов, предназначенный для использования при осаждении многослойного наноламинатного покрытия;

минатного покрытия на заготовку;

источник питания электроосаждения, соединенный с комплектом электродов, причем источник питания электроосаждения содержит входное соединение, предназначенное для приема сложного аналогового сигнала, причем источник питания электроосаждения выполнен с возможностью усиления сложного аналогового сигнала для генерирования желательного сигнала электроосаждения, причем желательный сигнал электроосаждения предназначен для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на заготовку; и

контроллер на базе процессора, содержащий

схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала;

схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором выполнена с возможностью управления генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени по меньшей мере одной из формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера, соединенную с входом источника питания электроосаждения, причем выходная схема контроллера выполнена с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на этот вход.

60. Система, содержащая

ванну электрохимической обработки;

комплект электродов, при применении осаждающих многослойное наноламинатное покрытие на заготовку;

источник питания электроосаждения, соединенный с комплектом электродов, причем источник питания электроосаждения содержит входное соединение, которое при применении принимает сложный аналоговый сигнал, причем источник питания электроосаждения при применении усиливает сложный аналоговый сигнал для генерирования желательного сигнала электроосаждения, причем желательный сигнал электроосаждения при применении осаждает по меньшей мере один слой многослойного наноламинатного покрытия на заготовку; и

контроллер на базе процессора, содержащий:

схему синтезатора сигнала, которая при применении генерирует сложный аналоговый сигнал;

схему управления синтезатором, которая при применении управляет схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором при применении управляет генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера, соединенную с входом источника питания электроосаждения, причем выходная схема контроллера при применении передает сложный аналоговый сигнал на упомянутый вход.

61. Система, содержащая

ванну электрохимической обработки;

комплект электродов для применения при осаждении многослойного наноламинатного покрытия на заготовку;

источник питания электроосаждения для усиления сложного аналогового сигнала с генерированием желательного сигнала электроосаждения для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на заготовку, причем источник питания электроосаждения содержит входное соединение для приема сложного аналогового сигнала; и

контроллер на базе процессора, содержащий

схему синтезатора сигнала для генерирования сложного аналогового сигнала;

схему управления синтезатором для управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором управляет генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера для передачи сложного аналогового сигнала на вход источника питания электроосаждения.

62. Система по любому из вариантов 59-61, причем схема управления синтезатором включает в себя программируемую пользователем логическую матрицу.

63. Система по любому из вариантов 59-62, причем набор команд хранится в контроллере на базе

процессора.

64. Система по любому из вариантов 59-63, причем набор команд содержит инструкции для генерирования желательного сигнала электроосаждения; и причем инструкции содержат плотность тока желательного сигнала электроосаждения, профиль сигнала тока желательного сигнала электроосаждения, профиль сигнала напряжения желательного сигнала электроосаждения или их сочетание.

65. Система по любому из вариантов 59-64, причем комплект электродов включает в себя катод и один, два, три, четыре или более анодов.

66. Система по любому из вариантов 59-65, причем источник питания электроосаждения выполнен с возможностью передачи желательного сигнала электроосаждения на комплект электродов.

67. Система по любому из вариантов 59-65, причем источник питания электроосаждения при применении передает желательный сигнал электроосаждения на комплект электродов.

68. Система по любому из вариантов 59-67, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью передачи желательного сигнала электроосаждения на комплект электродов.

69. Система по любому из вариантов 59-67, причем контроллер на базе процессора при применении передает желательный сигнал электроосаждения на комплект электродов.

70. Система по любому из вариантов 59-69, причем модуляция в режиме реального времени содержит модуляцию первой характеристики базового сигнала первого порядка с использованием второй характеристики второго сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой характеристикой и второй характеристикой для генерирования сложного аналогового сигнала.

71. Система по варианту 70, причем базовый сигнал первого порядка и второй сигнал первого порядка независимо выбираются из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

72. Система по варианту 71, причем источник питания электроосаждения представляет собой один из множества источников питания электроосаждения, которые соединены с контроллером на базе процессора.

73. Система по варианту 73, причем множество источников питания электроосаждения независимо управляют индивидуальными участками катодной шины, размещенной по меньшей мере вдоль участка длины ванны электрохимической обработки.

74. Система по любому из вариантов 70-73, причем первая характеристика базового сигнала первого порядка и вторая характеристика второго сигнала первого порядка независимо содержат форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость, производную соответствующего сигнала первого порядка или их сочетание.

75. Система по варианту 74, причем базовым сигналом первого порядка является сложный аналоговый сигнал; и причем сигнал первого порядка выбирается из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

76. Система по любому из вариантов 59-75, причем модуляция в режиме реального времени содержит последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования сложного аналогового сигнала.

77. Система по варианту 76, причем модуляция в режиме реального времени содержит генерирование последовательностей подсигналов для желательного числа счетов циклов и в желательном порядке следования.

78. Система по варианту 77, причем по меньшей мере один из желательного числа счета циклов и желательного порядка следования независимо динамически модифицируется на основе заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, технологической стадии осаждения по меньшей мере одного слоя наноламинатного покрытия, сигнала обратной связи, относящегося к осаждению по меньшей мере одного слоя наноламинатного покрытия, или их сочетания.

79. Система по варианту 78, причем по меньшей мере один из желательного числа счета циклов и желательного порядка следования независимо динамически модифицируется на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится меньшей мере к одному из концентрации электролита, уровня электролита, температуры электролита, толщины покрытия и сопротивления покрытия, или их сочетанию.

80. Система по любому из вариантов 59-79, причем контроллер на базе процессора дополнительно содержит схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, причем схема сетевых коммуникаций выполнена с возможностью приема набора команд от удаленного вычислительного устройства.

81. Система по любому из вариантов 59-79, причем контроллер на базе процессора дополнительно содержит схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, причем схема сетевых коммуникаций при применении принимает набор команд от удаленного вычислительного устройства.

82. Система по варианту 80 или 81, дополнительно содержащая один или более других контроллеров на базе процессора, выполненных с возможностью их соединения с внешней коммуникационной сетью,

причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью его соединения с одним или более другими контроллерами на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть; и
 причем каждый из контроллеров на базе процессора представляет собой узел на внешней коммуникационной сети.

83. Система по варианту 80 или 81, дополнительно содержащая один или более других контроллеров на базе процессора, которые при применении соединены с внешней коммуникационной сетью, причем контроллер на базе процессора при применении соединен с одним или более другими контроллерами на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть; и
 причем каждый из контроллеров на базе процессора представляет собой узел на внешней коммуникационной сети.

84. Система по варианту 82 или 83, причем каждый узел внешней коммуникационной сети выполнен с возможностью приема набора команд.

85. Система по варианту 82 или 83, причем каждый узел внешней коммуникационной сети при применении принимает набор команд.

86. Система по любому из вариантов 82-85, причем контроллер на базе процессора дополнительно выполнен с возможностью передачи по меньшей мере части инструкций набора команд одному или более другим контроллерам на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть.

87. Система по любому из вариантов 82-85, причем контроллер на базе процессора при применении передает по меньшей мере часть инструкций набора команд одному или более другим контроллерам на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть.

88. Система по любому из вариантов 62-87, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью генерирования множества сложных аналоговых сигналов, и программируемая пользователем логическая матрица обладает способностью параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

89. Система по любому из вариантов 62-77, причем контроллер на базе процессора при применении генерирует множество сложных аналоговых сигналов, и программируемая пользователем логическая матрица обладает способностью параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

90. Система по варианту 88 или 89, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью регулирования плотности тока, напряжения, фазы волны или их сочетания у желательного сигнала электроосаждения для компенсации вариаций в осаждении по меньшей мере одного слоя нанопластинчатого покрытия на заготовку.

91. Система по варианту 88 или 89, причем контроллер на базе процессора при применении компенсирует вариации в осаждении по меньшей мере одного слоя нанопластинчатого покрытия на заготовку регулированием плотности тока, напряжения, фазы волны или их сочетания у желательного сигнала электроосаждения.

92. Система по любому из вариантов 59-91, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью использовать файл драйвера источника питания, соответствующий источнику питания электроосаждения, чтобы учитывать характеристику источника питания электроосаждения.

93. Система по любому из вариантов 59-91, причем контроллер на базе процессора при применении использует файл драйвера источника питания, соответствующий источнику питания электроосаждения, чтобы учитывать характеристику источника питания электроосаждения.

94. Система по варианту 92 или 93, причем характеристика источника питания электроосаждения содержит скорость нарастания, процент выброса или их сочетание.

95. Система по варианту 92 или 93, причем файл драйвера источника питания основан на процедуре калибровки, выполняемой на источнике питания электроосаждения контроллером на базе процессора.

96. Система по варианту 95, причем процедура калибровки содержит передачу калибровочного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения; размещение известной нагрузки на выходных клеммах источника питания электроосаждения; измерение скорости нарастания, процента выброса или их сочетания у источника питания электроосаждения;

создание файла драйвера источника питания с использованием по меньшей мере результатов измерения скорости нарастания, процента выброса или их сочетания.

97. Система по любому из вариантов 59-96, дополнительно содержащая контроллер автоматизации ванны, выполненный с возможностью управления уровнем электролита, температурой электролита, скоростью перемешивания, расходом в соответствующей ванне электрохимической обработки или их сочетанием.

98. Система по любому из вариантов 59-96, дополнительно содержащая контроллер автоматизации ванны, который при применении управляет уровнем электролита, температурой электролита, скоростью перемешивания, расходом в соответствующей ванне электрохимической обработки или их сочетанием.

99. Система по варианту 59-98, дополнительно содержащая блок датчиков, выполненный с возможностью детектирования температуры, уровня, концентрации электролита, толщины покрытия, удельного сопротивления покрытия, напряжения или тока между электродами, скорости перемешивания или их сочетания.

100. Система по варианту 59-98, дополнительно содержащая блок датчиков, который при применении детектирует температуру, уровень, концентрацию электролита, толщину покрытия, удельное сопротивление покрытия, напряжение или ток между электродами, скорость перемешивания или их сочетание.

101. Система по варианту 99 или 100, причем блок датчиков выполнен с возможностью подачи сигнала обратной связи на контроллер на базе процессора.

102. Система по варианту 99 или 100, причем блок датчиков при применении подает сигнал обратной связи на контроллер на базе процессора.

103. Система по варианту 101 или 102, причем модуляция в режиме реального времени содержит корректирование формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания в ответ на прием сигнала обратной связи.

104. Система по любому из вариантов 99 или 100, причем блок датчиков выполнен с возможностью подачи сигнала обратной связи на контроллер автоматизации ванны.

105. Система по любому из вариантов 99 или 100, причем блок датчиков при применении подает сигнал обратной связи на контроллер автоматизации ванны.

106. Система по любому из вариантов 104 или 105, причем контроллер автоматизации ванны выполнен с возможностью подачи сигнала обратной связи на контроллер на базе процессора.

107. Система по любому из вариантов 104 или 105, причем контроллер автоматизации ванны при применении подает сигнал обратной связи на контроллер на базе процессора.

108. Система по любому из вариантов 97-107, причем контроллер автоматизации ванны выполнен с возможностью регулирования уровня электролита, температуры электролита, скорости перемешивания, расхода в соответствующей ванне электрохимической обработки или их сочетания в ответ на прием сигнала обратной связи.

109. Система по любому из вариантов 97-107, причем контроллер автоматизации ванны при применении регулирует уровень электролита, температуру электролита, скорость перемешивания, расхода в соответствующей ванне электрохимической обработки или их сочетание в ответ на прием сигнала обратной связи.

110. Система по любому из вариантов 59-109, причем контроллер на базе процессора имеет частоту дискретизации в диапазоне от постоянного тока до примерно 350 кГц.

111. Система по любому из вариантов 59-110, причем источник питания электроосаждения имеет скорость переключения примерно 5 миллисекунд или менее.

112. Контроллер для процесса электроосаждения, содержащий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного аналогового сигнала, соответствующего сигналу электроосаждения, причем схема синтезатора сигнала дополнительно выполнена с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором выполнена с возможностью управления генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания;

выходную схему контроллера, выполненную с возможностью передачи сложного аналогового сигнала на вход источника питания электроосаждения.

113. Контроллер для процесса электроосаждения, содержащий схему синтезатора сигнала, которая при применении генерирует сложный аналоговый сигнал, соответствующий сигналу электроосаждения, и передает этот сложный аналоговый сигнал на источник питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, которая при применении управляет схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором при применении управляет генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера, которая при применении передает сложный аналоговый сигнал на вход источника питания электроосаждения.

114. Контроллер для процесса электроосаждения, содержащий

схему синтезатора сигнала, которая при применении генерирует сложный аналоговый сигнал, соот-

ветствующий сигналу электроосаждения, и передает этот сложный аналоговый сигнал на источник питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, которая при применении управляет схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного нанопластинчатого покрытия, причем схема управления синтезатором при применении управляет генерируемым сложным аналоговым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера, которая при применении передает сложный аналоговый сигнал на вход источника питания электроосаждения.

115. Контроллер по любому из вариантов 112-114, причем схема управления синтезатором содержит программируемую пользователем логическую матрицу.

116. Контроллер по любому из вариантов 112-115, причем набор команд содержит инструкции для генерирования сигнала электроосаждения; и причем инструкции содержат плотность тока сигнала электроосаждения, профиль сигнала электроосаждения, профиль сигнала напряжения сигнала электроосаждения или их сочетание.

117. Контроллер по любому из вариантов 112-116, причем набор команд хранится в контроллере.

118. Контроллер по любому из вариантов 112-117, причем модуляция в режиме реального времени содержит модуляцию первой характеристики базового сигнала первого порядка с использованием второй характеристики второго сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой и второй характеристиками для генерирования сложного аналогового сигнала.

119. Контроллер по варианту 118, причем базовый сигнал первого порядка и второй сигнал первого порядка независимо выбираются из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере.

120. Контроллер по варианту 119, причем множество предзагруженных сигналов включает треугольную волну, синусоидальную волну, прямоугольную волну или сигнал специальной формы.

121. Контроллер по варианту 118-120, причем первая характеристика базового сигнала первого порядка и вторая характеристика второго сигнала первого порядка независимо содержат форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость, производную соответствующего сигнала первого порядка или их сочетание.

122. Контроллер по варианту 118, причем базовым сигналом первого порядка является сложный аналоговый сигнал, и причем второй сигнал первого порядка выбирается из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере.

123. Контроллер по любому из вариантов 112-122, причем модуляция в режиме реального времени содержит последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования сложного аналогового сигнала.

124. Контроллер по варианту 123, причем модуляция в режиме реального времени содержит генерирование последовательностей подсигналов для счета циклов подсигналов и в порядке следования подсигналов.

125. Контроллер по варианту 124, причем по меньшей мере один из числа счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов независимо динамически модифицируется на основе заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, технологической стадии процесса электроосаждения, сигнала обратной связи, относящегося к процессу электроосаждения, или их сочетания.

126. Контроллер по варианту 125, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов независимо динамически модифицируется на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится к концентрации электролита, уровню электролита, температуре электролита, толщине покрытия, сопротивлению покрытия или их сочетанию.

127. Контроллер по любому из вариантов 112-126, дополнительно содержащий схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, причем схема сетевых коммуникаций выполнена с возможностью приема набора команд через внешнюю коммуникационную сеть.

128. Контроллер по любому из вариантов 112-126, дополнительно содержащий схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, причем схема сетевых коммуникаций при применении принимает набор команд через внешнюю коммуникационную сеть.

129. Контроллер по варианту 127 или 128, причем внешняя коммуникационная сеть соединена с одним или более другими контроллерами, и каждый из этих одного или более других контроллеров представляет собой узел на внешней коммуникационной сети.

130. Контроллер по варианту 129, причем схема сетевых коммуникаций выполнена с возможностью передачи по меньшей мере части инструкций набора команд одному или более другим контроллерам через внешнюю коммуникационную сеть.

131. Контроллер по варианту 129, причем схема сетевых коммуникаций при применении передает

по меньшей мере части инструкций набора команд одному или более другим контроллерам через внешнюю коммуникационную сеть.

132. Контроллер по любому из вариантов 115-131, причем контроллер выполнен с возможностью генерирования множества сложных аналоговых сигналов, соответствующего множеству сигналов электроосаждения; и причем программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

133. Контроллер по любому из вариантов 115-131, причем контроллер при применении генерирует множество сложных аналоговых сигналов, соответствующее множеству сигналов электроосаждения; и причем программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

134. Контроллер по варианту 132 или 133, причем контроллер выполнен с возможностью регулирования плотности тока, напряжения, фазы волны или их сочетания у соответствующего сигнала электроосаждения, чтобы компенсировать вариации процесса электроосаждения.

135. Контроллер по варианту 132 или 133, причем контроллер при применении регулирует плотность тока, напряжение, фазу волны или их сочетание у соответствующего сигнала электроосаждения, чтобы компенсировать вариации процесса электроосаждения.

136. Контроллер по любому из вариантов 112-135, причем контроллер выполнен с возможностью использовать файл драйвера источника питания, соответствующий источнику питания электроосаждения, чтобы учитывать характеристику источника питания электроосаждения.

137. Контроллер по любому из вариантов 112-135, причем контроллер при применении использует файл драйвера источника питания, соответствующий источнику питания электроосаждения, чтобы учитывать характеристику источника питания электроосаждения.

138. Контроллер по варианту 136 или 137, причем характеристика включает скорость нарастания, процент выброса или их сочетание.

139. Контроллер по любому из вариантов 112-135, причем файл драйвера источника питания основан на процедуре калибровки, выполняемой контроллером на источнике питания электроосаждения.

140. Контроллер по варианту 139, причем процедура калибровки содержит передачу калибровочного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения; размещение известной нагрузки на выходных клеммах источника питания электроосаждения; измерение скорости нарастания, процента выброса или их сочетания у источника питания электроосаждения;

создание файла драйвера источника питания с использованием по меньшей мере результатов измерения скорости нарастания, процента выброса или их сочетания.

141. Контроллер по любому из вариантов 112-140, причем модуляция в режиме реального времени содержит корректирование формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания в ответ на прием сигнала обратной связи от блока датчиков.

142. Контроллер по любому из вариантов 112-141, причем контроллер выполнен с возможностью передачи сигнала электроосаждения на комплект электродов.

143. Контроллер по любому из вариантов 112-142, причем контроллер при применении передает сигнал электроосаждения на комплект электродов.

144. Контроллер по любому из вариантов 112-143, причем контроллер имеет частоту дискретизации в диапазоне от постоянного тока до примерно 350 кГц.

145. Способ электроосаждения покрытия на заготовку, включающий выбор набора команд, соответствующего процессу электроосаждения; создание специализированного набора команд корректированием набора команд на основе информации, относящейся к геометрической форме заготовки, площади поверхности заготовки, источнику питания электроосаждения или их сочетанию;

генерирование сложного аналогового сигнала, соответствующего желательному сигналу электроосаждения, который основывается на скорректированном наборе команд, причем генерирование содержит модуляцию в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания на основе по меньшей мере набора команд;

подачу сложного аналогового сигнала на источник питания электроосаждения;

генерирование сигнала электроосаждения на основе сложного аналогового сигнала источником питания электроосаждения;

передачу сигнала электроосаждения на комплект электродов в ванне обработки электроосаждением, с осаждением тем самым покрытия на заготовку.

146. Способ по варианту 145, причем сложный аналоговый сигнал генерируют с использованием программируемой пользователем логической матрицы.

147. Способ по варианту 145 или 146, причем набор команд содержит инструкции для генерирования сигнала электроосаждения, и причем инструкции содержат по меньшей мере одно из плотности тока сигнала электроосаждения, профиля сигнала тока сигнала электроосаждения, профиля сигнала напряжения сигнала электроосаждения или их сочетания.

148. Способ по любому из вариантов 145-147, причем генерирование сложного аналогового сигнала содержит модуляцию первой характеристики базового сигнала первого порядка с использованием второй характеристики второго сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой и второй характеристиками.

149. Способ по варианту 148, причем базовый сигнал первого порядка и второй сигнал первого порядка независимо выбирают из множества предзагруженных сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

150. Способ по варианту 149, причем множество предзагруженных сигналов включают треугольную волну, синусоидальную волну, прямоугольную волну или сигнал специальной формы.

151. Способ по любому из вариантов 148-150, причем первая характеристика базового сигнала первого порядка и вторая характеристика второго сигнала первого порядка независимо содержат форму волны, частоту, амплитуду, смещение, нарастание, длину волны, фазу, скорость, производную сигнала первого порядка или их сочетание.

152. Способ по любому из вариантов 148-151, причем базовым сигналом первого порядка является сложный аналоговый сигнал; и причем второй сигнал первого порядка выбирают из множества предзагруженных сигналов.

153. Способ по любому из вариантов 145-152, причем генерирование сложного аналогового сигнала содержит последовательное комбинирование последовательностей подсигналов.

154. Способ по варианту 153, причем последовательное комбинирование последовательностей подсигналов содержит генерирование подсигналов для счета циклов подсигналов и в порядке следования подсигналов.

155. Способ по варианту 154, причем счет циклов подсигналов, порядок следования подсигналов или их сочетание независимо динамически модифицируют на основе заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, технологической стадии осаждения покрытия, сигнала обратной связи, относящегося к осаждению покрытия, или их сочетания.

156. Способ по варианту 155, причем счет циклов подсигналов, порядок следования подсигналов или их сочетание независимо динамически модифицируют на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится к концентрации электролита, уровню электролита, температуре электролита, толщине покрытия, сопротивлению покрытия или их сочетанию.

157. Способ по любому из вариантов 146-156, дополнительно включающий генерирование множества сложных аналоговых сигналов программируемой пользователем логической матрицей, которая обладает способностью параллельной обработки для одновременного и независимого генерирования каждого из множества сложных аналоговых сигналов.

158. Способ по любому из вариантов 145-157, причем генерирование сложного аналогового сигнала учитывает характеристику источника питания электроосаждения.

159. Способ по варианту 158, причем характеристика включает скорость нарастания, процент выброса или их сочетание.

160. Способ по любому из вариантов 145-159, дополнительно включающий детектирование блоком датчиков температуры, уровня, концентрации электролита, толщины покрытия, удельного сопротивления покрытия, напряжения или тока между электродами, скорости перемешивания или их сочетания.

161. Способ по варианту 160, дополнительно включающий подачу блоком датчиков сигнала обратной связи на контроллер на базе процессора.

162. Способ по варианту 161, причем модуляция в режиме реального времени включает корректирование формы волны, частоты, амплитуды, смещения, нарастания, длины волны, фазы, скорости, производной сложного аналогового сигнала или их сочетания в ответ на прием сигнала обратной связи.

163. Способ по варианту 160, дополнительно включающий подачу блоком датчиков сигнала обратной связи на контроллер автоматизации ванны.

164. Способ по варианту 163, дополнительно включающий подачу контроллером автоматизации ванны сигнала обратной связи на контроллер на базе процессора.

165. Способ по варианту 160, дополнительно включающий регулирование контроллером автоматизации ванны уровня электролита, температуры электролита, скорости перемешивания, расхода в соответствующей ванне электрохимической обработки или их сочетания в ответ на прием сигнала обратной связи.

166. Способ по любому из вариантов 145-165, причем сигнал электроосаждения передают от источника питания на электродный комплект.

167. Способ по любому из вариантов 149-165, причем сигнал электроосаждения передают от контроллера на базе процессора на электродный комплект.

168. Способ по любому из вариантов 149-167, причем контроллер на базе процессора имеет частоту

дискретизации в диапазоне от постоянного тока до примерно 350 кГц.

169. Способ по любому из вариантов 145-168, причем источник питания электроосаждения имеет скорость переключения примерно 5 миллисекунд или менее.

Хотя объект изобретения был описан с терминологией, специфической для конструктивных признаков и/или действий способа, должно быть понятно, что объект изобретения, охарактеризованный в прилагаемой формуле изобретения, необязательно ограничен описанными конкретными признаками или действиями. Скорее, конкретные признаки и действия раскрыты в качестве иллюстративных форм реализации формулы изобретения.

Описанные выше разнообразные варианты осуществления могут быть скомбинированы для создания дополнительных вариантов осуществления. Все патенты США, публикации патентных заявок США, патентные заявки США, иностранные патенты, иностранные патентные заявки и непатентные публикации, упоминавшиеся в этом описании и/или перечисленные в информационном листе заявки, включая заявку на патент США № 62/394,552, включены сюда по ссылке во всей их полноте. Аспекты вариантов осуществления могут быть модифицированы, если необходимо, с использованием концепций различных патентов, заявок и публикаций для создания других дополнительных вариантов осуществления.

Эти и другие изменения могут быть проделаны в отношении вариантов осуществления в свете приведенного выше подробного описания. В общем, использованные в нижеследующей формуле изобретения термины не должны толковаться как ограничивающие формулу изобретения до конкретных вариантов осуществления, раскрытых в описании и формуле изобретения, но должны рассматриваться как включающие все возможные варианты осуществления наряду с полным объемом эквивалентов, на которые распространяется такая формула изобретения. Соответственно, формула изобретения не ограничена приведенным описанием.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Контроллер для управления процессом электроосаждения, содержащий схему синтезатора сигнала, выполненную с возможностью генерирования сложного волнового сигнала, соответствующего волновому сигналу электроосаждения, предназначенному для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на подложку, причем схема синтезатора сигнала дополнительно выполнена с возможностью передачи сложного волнового сигнала на источник питания электроосаждения;

схему управления синтезатором, выполненную с возможностью управления схемой синтезатора сигнала на основе, по меньшей мере отчасти, набора команд, имеющего параметры, относящиеся к осаждению по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия, причем схема управления синтезатором выполнена с возможностью управления генерируемым сложным волновым сигналом путем модуляции в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, скорости нарастания, фазы, производной сложного волнового сигнала или их сочетания; и

выходную схему контроллера, выполненную с возможностью передачи сложного волнового сигнала на вход источника питания электроосаждения,

при этом набор команд содержит инструкции для генерирования волнового сигнала электроосаждения,

при этом инструкции содержат плотность тока волнового сигнала электроосаждения, профиль волны тока волнового сигнала электроосаждения, профиль волны напряжения волнового сигнала электроосаждения или их сочетание,

при этом, исходя из введенных геометрической формы подложки и/или площади поверхности подложки, контроллер может выполнять корректировки профиля волны, длительности во времени и/или накопления ампер-часов, соответственно, набора команд, и

при этом сложный волновой сигнал относится к любому произвольному волновому сигналу, который может быть сгенерирован или модифицирован во время процесса электроосаждения.

2. Контроллер по п.1, причем схема управления синтезатором содержит программируемую пользователем логическую матрицу.

3. Контроллер по любому из пп.1, 2, причем набор команд хранится в контроллере.

4. Контроллер по любому из пп.1-3, причем модуляция в режиме реального времени содержит модуляцию первой характеристики базового волнового сигнала первого порядка с использованием второй характеристики второго волнового сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой и второй характеристиками для генерирования сложного волнового сигнала.

5. Контроллер по любому из пп.1-3, причем модуляция в режиме реального времени содержит последовательное комбинирование последовательностей подсигналов для генерирования сложного волнового сигнала.

6. Контроллер по п.4 или 5, причем базовый волновой сигнал первого порядка и второй волновой сигнал первого порядка независимо выбираются из множества предзагруженных волновых сигналов, которые хранятся в контроллере или причем модуляция в режиме реального времени содержит генери-

рование последовательностей подсигналов для счета циклов подсигналов и в порядке следования подсигналов.

7. Контроллер по любому из пп.4-6, причем множество предзагруженных волновых сигналов содержит треугольную волну, синусоидальную волну, прямоугольную волну или волновой сигнал специальной формы и причем первая характеристика базового волнового сигнала первого порядка и вторая характеристика второго волнового сигнала первого порядка независимо содержат форму волны, частоту, амплитуду, скорость нарастания, фазу, производную соответствующих волнового сигнала первого порядка и второго волнового сигнала первого порядка или их сочетание.

8. Контроллер по п.4, причем базовым сигналом первого порядка является сложный волновой сигнал, и причем второй волновой сигнал первого порядка выбирается из множества предзагруженных волновых сигналов, которые хранятся в контроллере.

9. Контроллер по п.5, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов независимо динамически модифицируется на основе заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, технологической стадии процесса электроосаждения, сигнала обратной связи, относящегося к процессу электроосаждения, или их сочетание.

10. Контроллер по п.9, причем по меньшей мере один из счета циклов подсигналов и порядка следования подсигналов независимо динамически модифицируется на основе сигнала обратной связи; и причем сигнал обратной связи относится к концентрации электролита, уровню электролита, температуре электролита, толщине покрытия, сопротивлению покрытия или их сочетанию.

11. Контроллер по п.2, причем контроллер выполнен с возможностью генерирования множества сложных волновых сигналов, соответствующего множеству волновых сигналов электроосаждения; и причем программируемая пользователем логическая матрица имеет способность параллельной обработки для одновременного и независимого управления схемой синтезатора сигнала для генерирования каждого из множества сложных волновых сигналов.

12. Контроллер по п.11, причем контроллер выполнен с возможностью регулирования плотности тока, напряжения, фазы волны или их сочетания у соответствующих волновых сигналов электроосаждения для компенсации вариаций процесса электроосаждения.

13. Контроллер по любому из пп.1-12, причем контроллер выполнен с возможностью использования файла драйвера источника питания, соответствующего источнику питания электроосаждения, чтобы учитывать характеристику источника питания электроосаждения.

14. Контроллер по п.13, причем характеристика содержит скорость нарастания, процент выброса или их сочетание.

15. Контроллер по п.13 или 14, причем файл драйвера источника питания основан на процедуре калибровки, выполняемой контроллером на источнике питания электроосаждения, и при этом процедура калибровки содержит

передачу калибровочного волнового сигнала на источник питания электроосаждения;
размещение известной нагрузки на выходных клеммах источника питания электроосаждения;
измерение скорости нарастания, процента выброса или их сочетания у источника питания электроосаждения;

создание файла драйвера источника питания с использованием по меньшей мере результатов измерения скорости нарастания, процента выброса или их сочетания.

16. Система электроосаждения, содержащая ванну электрохимической обработки;
комплект электродов, предназначенный для осаждения многослойного наноламинатного покрытия на подложку;

источник питания электроосаждения, соединенный с комплектом электродов и содержащий входное соединение, выполненное с возможностью приема сложного волнового сигнала, причем источник питания электроосаждения выполнен с возможностью усиления сложного волнового сигнала для генерирования волнового сигнала электроосаждения, предназначенного для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на подложку; и

контроллер по любому из пп.1-15.

17. Система электроосаждения по п.16, причем набор команд хранится в контроллере.

18. Система электроосаждения по п.16 или 17, причем источник питания электроосаждения представляет собой один из множества источников питания электроосаждения, которые соединены с контроллером; и причем множество источников питания электроосаждения независимо управляют индивидуальными участками катодной шины, размещенной по меньшей мере вдоль участка длины ванны электрохимической обработки.

19. Система электроосаждения по любому из пп.16-18, причем контроллер дополнительно содержит схему сетевых коммуникаций, соединенную с возможностью связи с внешней коммуникационной сетью, причем схема сетевых коммуникаций выполнена с возможностью приема набора команд от удаленного вычислительного устройства.

20. Система электроосаждения по п.19, дополнительно содержащая один или более других кон-

троллеров на базе процессора, выполненных с возможностью их соединения с внешней коммуникационной сетью,

причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью его соединения с упомянутыми одним или более другими контроллерами на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть; и

причем каждый из контроллеров на базе процессора представляет собой узел на внешней коммуникационной сети.

21. Система электроосаждения по п.20, причем каждый узел внешней коммуникационной сети выполнен с возможностью приема набора команд.

22. Система электроосаждения по п.20 или 21, причем контроллер дополнительно выполнен с возможностью передачи по меньшей мере части инструкций набора команд упомянутым одному или более другим контроллерам на базе процессора через внешнюю коммуникационную сеть.

23. Система электроосаждения по любому из пп.16-22, дополнительно содержащая контроллер автоматизации ванны, выполненный с возможностью управления уровнем электролита, температурой электролита, скоростью перемешивания, расходом в ванне электрохимической обработки или их сочетанием.

24. Система электроосаждения по любому из пп.16-23, причем источник питания электроосаждения выполнен с возможностью передачи волнового сигнала электроосаждения на комплект электродов.

25. Система электроосаждения по любому из пп.16-23, причем контроллер на базе процессора выполнен с возможностью передачи волнового сигнала электроосаждения на комплект электродов.

26. Способ электроосаждения многослойного наноламинатного покрытия на подложку с использованием системы по одному из пп.16-25, включающий

выбор набора команд, соответствующего процессу электроосаждения;

создание специализированного набора команд корректированием упомянутого набора команд на основе информации, относящейся к геометрической форме подложки, площади поверхности подложки, источнику питания электроосаждения или их сочетанию;

генерирование сложного волнового сигнала контроллером на основании скорректированного набора команд, причем генерирование содержит модуляцию в режиме реального времени формы волны, частоты, амплитуды, скорости нарастания, фазы, производной сложного волнового сигнала или их сочетания на основе по меньшей мере набора команд;

подачу сложного волнового сигнала от контроллера на источник питания электроосаждения;

генерирование волнового сигнала электроосаждения на основе сложного волнового сигнала источником питания электроосаждения, причем волновой сигнал электроосаждения предназначен для осаждения по меньшей мере одного слоя многослойного наноламинатного покрытия на подложку; и

передачу волнового сигнала электроосаждения на комплект электродов в ванне обработки электроосаждением с осаждением тем самым покрытия на подложку,

при этом набор команд содержит инструкции для генерирования волнового сигнала электроосаждения,

при этом инструкции содержат по меньшей мере одно из плотности тока волнового сигнала электроосаждения, профиля волны тока волнового сигнала электроосаждения, профиля волны напряжения волнового сигнала электроосаждения или их сочетания, и

при этом сложный волновой сигнал относится к любому произвольному волновому сигналу, который может быть сгенерирован или модифицирован во время процесса электроосаждения.

27. Способ по п.26, причем сложный волновой сигнал генерируют с использованием программируемой пользователем логической матрицы.

28. Способ по любому из пп.26, 27, причем генерирование сложного волнового сигнала содержит модуляцию первой характеристики базового волнового сигнала первого порядка с использованием второй характеристики второго волнового сигнала первого порядка на основе функциональной взаимосвязи между первой и второй характеристиками.

29. Способ по п.28, причем базовый волновой сигнал первого порядка и второй волновой сигнал первого порядка независимо выбирают из множества предзагруженных волновых сигналов, которые хранятся в контроллере на базе процессора.

30. Способ по п.29, причем множество предзагруженных волновых сигналов содержит треугольную волну, синусоидальную волну, прямоугольную волну или волновой сигнал специальной формы.

31. Способ по п.28, причем первая характеристика базового волнового сигнала первого порядка и вторая характеристика второго волнового сигнала первого порядка независимо содержат форму волны, частоту, амплитуду, скорость нарастания, фазу, производную соответствующих волнового сигнала первого порядка и второго волнового сигнала первого порядка или их сочетание.

32. Способ по п.28, причем базовым волновым сигналом первого порядка является сложный волновой сигнал; и причем второй волновой сигнал первого порядка выбирают из множества предзагруженных волновых сигналов.

33. Способ по любому из пп.26, 27, причем генерирование сложного волнового сигнала содержит последовательное комбинирование последовательностей подсигналов.

34. Способ по п.33, причем последовательное комбинирование последовательностей подсигналов содержит генерирование подсигналов для счета циклов подсигналов и в порядке следования подсигналов.

35. Способ по п.34, причем счет циклов подсигналов, порядок следования подсигналов или их сочетание независимо динамически модифицируют на основе заданного периода времени, заданного счета циклов подсигналов, стадии процесса осаждения покрытия, сигнала обратной связи, относящегося к осаждению покрытия, или их сочетания.

36. Способ по п.35, причем счет циклов подсигналов, порядок следования подсигналов или их сочетание независимо динамически модифицируют на основе сигнала обратной связи, и причем сигнал обратной связи относится к концентрации электролита, уровню электролита, температуре электролита, толщине покрытия, сопротивлению покрытия или их сочетанию.

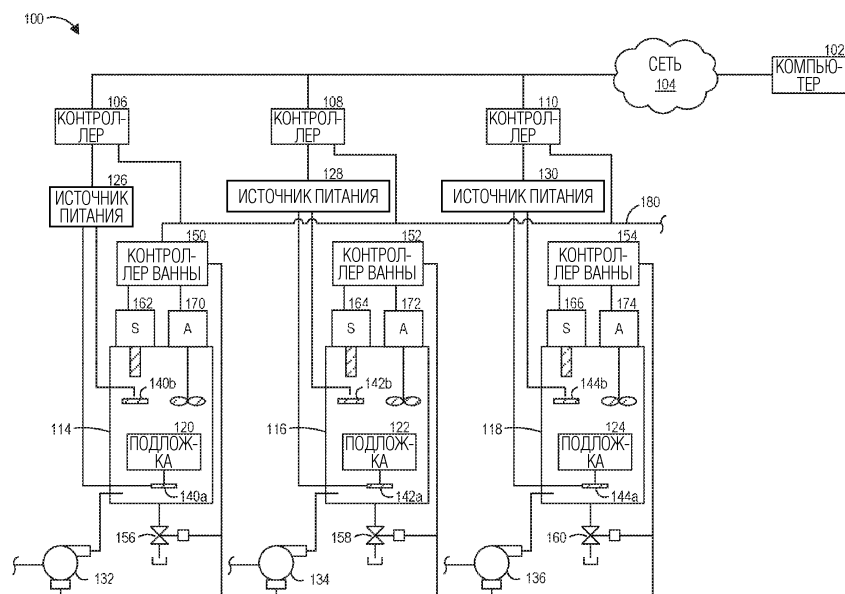
37. Способ по любому из пп.27-36, дополнительно включающий генерирование множества сложных волновых сигналов программируемой пользователем логической матрицей, которая обладает способностью параллельной обработки для одновременного и независимого генерирования каждого из множества сложных волновых сигналов.

38. Способ по любому из пп.26-37, причем генерирование сложного волнового сигнала учитывает характеристику источника питания электроосаждения.

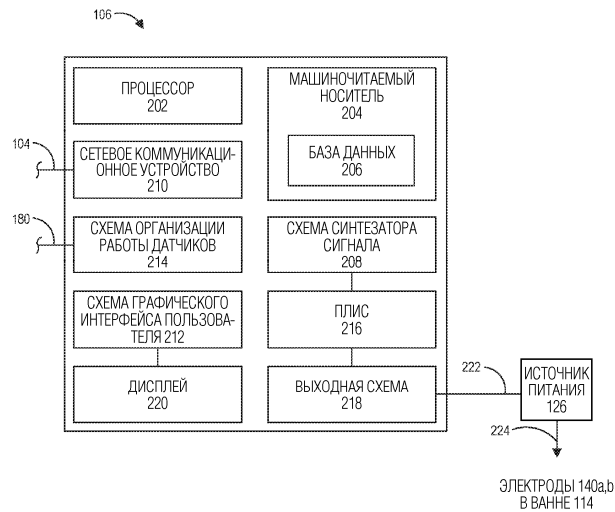
39. Способ по п.38, причем характеристика содержит скорость нарастания, процент выброса или их сочетание.

40. Способ по любому из пп.26-39, причем волновой сигнал электроосаждения передают от источника питания на комплект электродов.

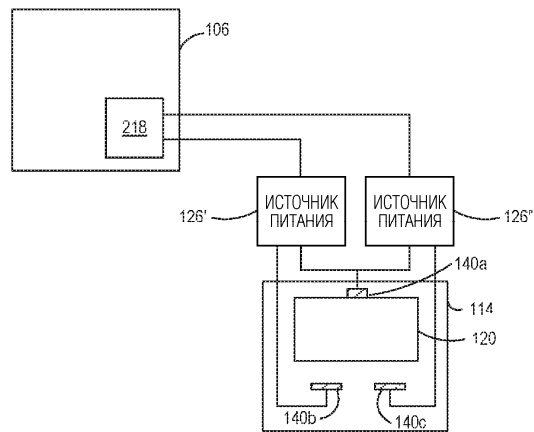
41. Способ по любому из пп.29-39, причем волновой сигнал электроосаждения передают от контроллера на базе процессора на комплект электродов.



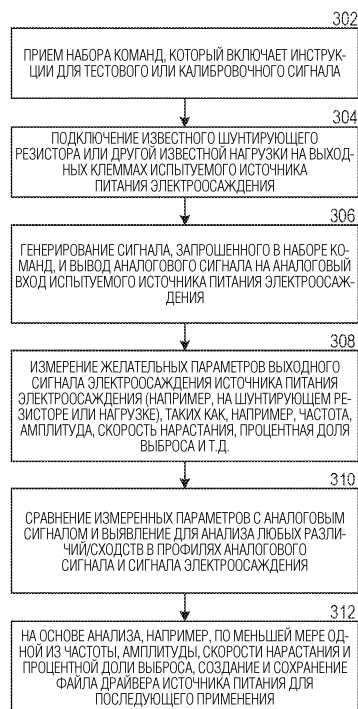
Фиг. 1



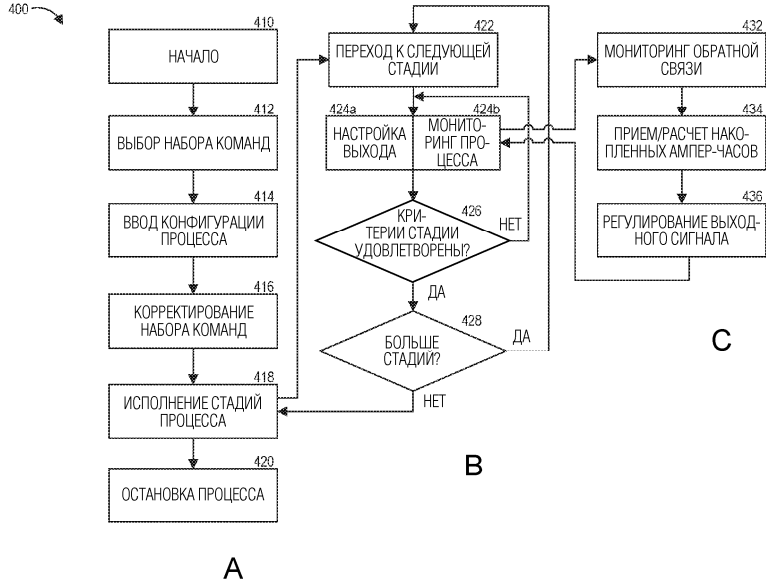
Фиг. 2А



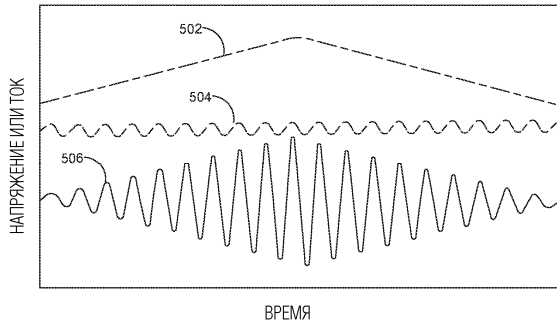
Фиг. 2В



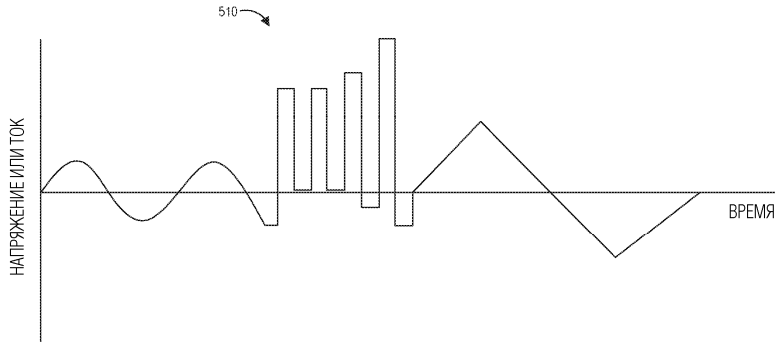
Фиг. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5А



Фиг. 5В