

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 036020

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.15

(21) Номер заявки
201800470

(22) Дата подачи заявки
2016.04.01

(51) Int. Cl. *H01L 21/336* (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01)
H01L 29/16 (2006.01)

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРАФЕНОВОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ТРАНЗИСТОРА

(31) 201610156131.8

(32) 2016.03.18

(33) CN

(43) 2019.01.31

(86) PCT/CN2016/078391

(87) WO 2017/156803 2017.09.21

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
УХАНЬ ЧАЙНА СТАР
ОПТОЭЛЕКТРОНИКС
ТЕКНОЛОДЖИ КО., ЛТД (CN)

(72) Изобретатель:
Ван Сюаньюнь (CN)

(74) Представитель:
Кузнецова С.А. (RU)

(56) CN-A-102881654
CN-A-104300008
CN-U-204927297
JP-A-2013058598
CN-A-105304495
CN-A-103236443
CN-A-103606535

(57) Настоящее изобретение предоставляет способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора, который включает осаждение слоя графена на поверхность медной фольги; осаждение слоя металла на поверхность слоя графена; присоединение слоя-подложки к поверхности слоя металла с образованием графеновой пленки; размещение графеновой пленки в растворе для травления меди до полного растворения медной фольги, затем перемещение графеновой пленки на целевую подложку и удаление слоя-подложки; определение структур истока и стока на поверхности слоя металла, изготовление электрода истока и электрода стока и изготовление электрода затвора на целевой подложке.

B1

036020

036020

B1

Предпосылки изобретения

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к области тонкопленочных транзисторов и, в частности, к способу изготовления графенового тонкопленочного транзистора.

Описание известного уровня техники

Графен представляет собой новый материал, имеющий хорошие электропроводность и проницаемость. С развитием сенсорных экранов, жидкокристаллических дисплеев и т.п. графен демонстрирует отличные механическую прочность и гибкость таким образом, что он постепенно стал предметом исследований в применениях тонкопленочных транзисторов.

В настоящее время способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора в основном включает этапы наращивания графена на поверхности медной фольги; осаждения покрытия в виде органического макромолекулярного материала на поверхность графена, такого как полимерный метилметакрилат (РММА); размещения пленки, состоящей из РММА, графена и медной фольги, в растворе для травления меди с целью травления медной фольги; затем растворения РММА и изготовления истока и стока на поверхности графена посредством фотолитографической технологии и т.п., таким образом формируя готовый графеновый тонкопленочный транзистор. Однако в традиционном способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора РММА и фоторезист, используемые для фотолитографической технологии, находятся в прямом контакте с графеном. При растворении РММА и фоторезиста возникает проблема в связи с тем, что РММА и фоторезист остаются на поверхности графена. При последующем изготовлении истока и стока исток и сток не могут полностью контактировать с поверхностью графена в связи с оставшимися РММА и фоторезистом. Таким образом, контактное сопротивление между истоком, стоком и графеном увеличено, перенос заряда ограничен и электрический ток в тонкопленочном транзисторе уменьшен так, что управляющая способность снижена.

Таким образом, необходимо предоставить способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора для решения проблемы увеличенного контактного сопротивления из-за оставшихся органических макромолекулярных материалов на поверхности графена в традиционном способе изготовления.

Краткое описание изобретения

Вариант осуществления настоящего изобретения предоставляет способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора для решения проблемы увеличенного контактного сопротивления из-за оставшихся органических макромолекулярных материалов на поверхности графена в традиционном способе изготовления.

Вариант осуществления настоящего изобретения предоставляет способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора, включающий:

S1: осаждение слоя графена на поверхность медной фольги посредством химического осаждения из паровой фазы с использованием метана в качестве источника углерода;

S2: осаждение слоя металла на поверхность слоя графена;

S3: присоединение слоя-подложки к поверхности слоя металла с образованием графеновой пленки;

S4: размещение графеновой пленки в растворе для травления меди, частичное погружение слоя-подложки в раствор для травления меди и полное погружение слоя металла, слоя графена и медной фольги в раствор для травления меди до полного растворения медной фольги, затем перемещение графеновой пленки, с которой удалена медная фольга, на целевую подложку и удаление слоя-подложки, при этом плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди;

S5: определение структур истока и стока на поверхности слоя металла, изготовление электродов истока и стока и изготовление электрода затвора на стороне целевой подложки, противоположной слою графена, с получением графенового тонкопленочного транзистора.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению перед S1 способ дополнительно включает последовательное промывание медной фольги в этаноле, ацетоне и разбавленной хлороводородной кислоте с концентрацией 0,5 моль/л.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению слой металла осаждают на поверхность слоя графена посредством электронно-лучевого напыления или магнетронного напыления.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению слой металла имеет толщину в диапазоне 5-50 нм.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению каждый из слоев, входящих в составной слой металла, имеет одинаковую толщину, если слой металла представляет собой составной слой металла.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению в слое металла применяют металл, в том числе титан, золото, никель, палладий или платину.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению слой-подложка содержит полиуретан.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению целевая подложка содержит изоляционный слой, при этом материал изоляционного слоя включает

диоксид кремния, карбид кремния, стекло или сапфир.

В сравнении с известным уровнем техники в способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению посредством осаждения слоя металла на поверхность слоя графена слой графена защищен таким образом, что слой графена не имеет прямого контакта с верхним слоем и фоторезистом, таким образом предотвращая проблему появления остатков на поверхности графена, так что электрод истока и электрод стока находятся в прямом контакте со слоем графена и уменьшают контактное сопротивление между электродом истока, электродом стока и графеном. Это решает проблему увеличения контактного сопротивления между электродом истока и электродом стока и графеном из-за оставшихся РММА и фоторезиста на поверхности графена в традиционном способе изготовления.

Краткое описание графических материалов

Для более ясной иллюстрации технических решений в вариантах осуществления согласно настоящему изобретению или в уровне техники необходимые проводительные графические материалы для описания вариантов осуществления или уровня техники кратко представлены далее. Проводительные графические материалы в следующем описании являются только некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения, и специалисты в данной области техники могут предоставить проводительные графические материалы, отличные от этих проводительных графических материалов, не прилагая творческих усилий.

Фиг. 1 представляет собой блок-схему способа изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 представляет собой схематическое изображение структуры графеновой пленки в способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению.

Фиг. 3 представляет собой график передаточной функции заднего затвора графенового тонкопленочного транзистора, изготовленного посредством способа изготовления согласно настоящему изобретению.

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления

Обратимся к фиг. 1. Фиг. 1 представляет собой блок-схему способа изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно одному предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения. Способ изготовления включает следующие этапы:

S101: осаждение слоя графена на поверхность медной фольги, при этом плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди;

S102: осаждение слоя металла на поверхность слоя графена;

S103: присоединение слоя-подложки к поверхности слоя металла с образованием графеновой пленки;

S104: размещение графеновой пленки в растворе для травления меди, частичное погружение слоя-подложки в раствор для травления меди и полное погружение слоя металла, слоя графена и медной фольги в раствор для травления меди до полного растворения медной фольги, затем перемещение графеновой пленки, с которой удалена медная фольга, на целевую подложку и удаление слоя-подложки, при этом плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди;

S105: определение структур истока и стока на поверхности слоя металла, изготовление электрода истока и электрода стока и изготовление электрода затвора на стороне целевой подложки, противоположной слою графена, с получением графенового тонкопленочного транзистора.

На этапе S101 перед осаждением слоя графена на поверхность медной фольги необходима операция очистки от загрязнения нефтепродуктами, оксидами и другими примесями на поверхности медной фольги. В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения операция очистки включает последовательное промывание медной фольги в этаноле, ацетоне и разбавленной хлороводородной кислоте с концентрацией 0,5 моль/л до удаления всех примесей на поверхности медной фольги, таким образом поверхность медной фольги отвечает требованиям для способа осаждения графена.

В предпочтительном варианте осуществления согласно настоящему изобретению слой графена осаждают на поверхность медной фольги посредством химического осаждения из паровой фазы (CVD). Графен, изготовленный посредством CVD, имеет преимущества высокого качества и большой области развития. В настоящее время CVD представляет собой способ изготовления высококачественного графена. Его принцип действия состоит во введении одного или более газообразных веществ в реакционную камеру, где происходит химическая реакция, при этом новый материал образуется и осаждается на поверхность подложки.

При осаждении слоя графена посредством CVD водород может быть выбран в качестве неокислительного газа для введения в реакционную камеру для удаления окислительного газа в реакционной камере. Конечно, аргон или другие газы также могут быть использованы в качестве неокислительного газа, что не ограничено конкретно в данном документе. Метан используют в качестве источника углерода. Источник углерода может представлять собой другие углеродистые материалы, такие как монооксид углерода, ацетилен или т.п., что не ограничено конкретно в данном документе. Этапы осаждения слоя графена на поверхность медной фольги выполняют в среде с высокой температурой и низким давлением.

На этапе S102 металл осаждают на поверхность слоя графена посредством магнетронного напыления с образованием слоя металла на поверхности слоя графена. В других вариантах осуществления металл осаждают на поверхность слоя графена посредством электронно-лучевого напыления и подобных технологий, что не ограничено конкретно в данном документе.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения слой металла представляет собой составной слой металла, содержащий два слоя металла, в котором один слой металла, находящийся ближе к поверхности слоя графена, представляет собой слой металла титана, и другой слой металла, находящийся дальше от поверхности слоя графена, представляет собой слой металла золота. Преимущество расположения слоя металла титана ближе к слою графена состоит в том, что между металлом титана и графеном легко образуется связь и контактное сопротивление между слоем металла титана и слоем графена может быть дополнительно уменьшено.

Безусловно, в других вариантах осуществления слой металла может представлять собой единственный слой металла, также он может представлять собой составной слой металла, содержащий три слоя, четыре слоя или т.п. Металл или металлы слоя металла могут представлять собой один или более из титана, золота, никеля, палладия и платины. Количество слоев металла и типов металла не ограничено конкретно в данном документе.

Необходимо контролировать вводимое количество металла, когда слой металла осаждают на поверхность слоя графена. Другими словами, толщина металла будет контролироваться. Если толщина слоя металла является слишком маленькой, он не может предохранять слой графена лучшим образом. Если толщина слоя металла является слишком большой, слой-подложка не подвешивает слой металла, слой графена и медную фольгу в растворе для травления меди, другими словами, слой-подложка упадет в раствор для травления меди со слоем металла, слоем графена и медной фольгой. Это вызовет неудобство в последующем процессе. Таким образом, толщина слоя металла будет ограничена. В общем слой металла имеет толщину в диапазоне 5-50 нм. В предпочтительном варианте осуществления согласно настоящему изобретению толщина слоя металла составляет предпочтительно 10 нм и толщина слоя металла титана и слоя металла золота составляет 5 нм соответственно.

На этапе S103 слой-подложку прикрепляют к поверхности слоя металла, при этом плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди. Разность плотности слоя-подложки и плотности раствора для травления меди должна быть максимально большой. Используя разность плотности слоя-подложки и раствора для травления меди, слой-подложку помещают на поверхность раствора для травления меди. На последующем этапе растворения медной фольги слой металла, слой графена и медную фольгу подвешивали в растворе для травления меди посредством слоя-подложки для предотвращения падения этих слоев в раствор для травления меди. В дополнение к описанной выше функции является удобным переносить графеновую пленку, с которой удалена медная фольга, к целевой подложке.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения слой-подложка содержит полиуретан. В других вариантах осуществления слой-подложка может также содержать другой материал с плотностью, которая меньше плотности раствора для травления меди, при этом материал не ограничен конкретно в данном документе.

Для более ясного дальнейшего описания структуры графеновой пленки обратимся к фиг. 2, которая представляет собой схематическое изображение структуры графеновой пленки в способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора согласно настоящему изобретению. Графеновая пленка последовательно содержит снизу вверх: медную фольгу 21, слой 22 графена, слой 23 металла и слой-подложку 24.

На этапе S104 графеновую пленку размещают в растворе для травления меди. В то же время вследствие того, что плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди, слой-подложка плавает на поверхности раствора для травления меди и слой металла, слой графена и медная фольга погружены в раствор для травления меди. После полного травления медной фольги графеновую пленку, с которой удалена медная фольга, переносят к целевой подложке и затем слой-подложку удаляют.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения целевая подложка содержит изоляционный слой. Как известно, графеновую пленку перемещают на изоляционный слой целевой подложки. Изоляционный слой включает диоксид кремния, карбид кремния, причем материалы на основе стекла или сапфира могут также быть использованы, при этом материал не ограничен конкретно в данном документе.

На этапе S105 структуры истока и стока на поверхности слоя металла определены посредством фотолитографической технологии, затем металл золото осаждают в положениях, соответствующих структурам истока и стока посредством технологий магнетронного напыления или электронно-лучевого напыления. Слой металла в области канала вытравливается посредством технологии сухого травления для открытия слоя графена в области канала. В то же время электрод затвора изготовлен на стороне целевой подложки, противоположной слою графена. Поскольку этапы способов изготовления истока, стока и затвора относятся к традиционным технологиям и широко известны специалисту в данной области техники, этапы не описаны чрезмерно в данном документе. После завершения этапа S105 предоставлен гра-

феновый тонкопленочный транзистор с низким контактным сопротивлением.

В традиционном способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора структуры истока и стока непосредственно определяют на поверхности слоя графена посредством фотолитографической технологии. Тонкий слой металла титана и тонкий слой металла золота осаждают в положениях, соответствующих структурам истока и стока, посредством технологий магнетронного напыления или электронно-лучевого напыления, таким образом формируя электрод истока и электрод стока. На протяжении всего процесса слой графена непосредственно контактирует с фоторезистом, используемым в фотолитографической технологии. В результате при растворении фоторезиста часть фоторезиста будет оставаться на поверхности слоя графена так, что слой графена не может полностью входить в контакт с электродом истока и электродом стока, и это приведет к увеличению контактного сопротивления между электродом истока/электродом стока и слоем графена.

В способе согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения структуры истока и стока определяют на слое металла посредством фотолитографии, причем слой графена не будет контактировать с фоторезистом, так что проблема оставшегося фоторезиста на поверхности слоя графена при растворении фоторезиста предотвращается. В то же время, слой металла содержит металл титан и металл золота, являющиеся необходимыми металлами для истока и стока. При осаждении металла золота в положениях, соответствующих истоку и стоку, посредством магнетронного напыления или технологии электронно-лучевого напыления не является необходимым удалять слой металла в соответствующих положениях истока и стока. Таким образом, слой металла предохраняет графен на протяжении всего процесса изготовления графенового тонкопленочного транзистора, и обеспечивается достаточный контакт слоя графена с электродом истока и электродом стока, и таким образом контактное сопротивление между электродом истока/электродом стока и слоем графена уменьшено.

После изготовления графенового тонкопленочного транзистора проводят анализ графика функции преобразования заднего затвора графенового тонкопленочного транзистора. Обратимся к фиг. 3, где продольная ось показывает электрический ток (I_d) стока, единицей измерения является мА; горизонтальная ось показывает напряжение затвора (V_g), единицей измерения являются вольты. Исток основан на анализе графика функции преобразования заднего затвора. Как показано на фиг. 3, для разных напряжений (V_d) стока все минимальные значения электрического тока стока возникают в точке $V_g = 0$. Это показывает, что графен в области канала графенового тонкопленочного транзистора является непокрытым, что означает, что не остается никаких примесей на поверхности слоя графена. Внутренняя характеристика является хорошей. В способе согласно уровню техники РММА фоторезист и другие примеси остаются на поверхности графена. Минимальное значение электрического тока стока возникает в точке со значением напряжения, которое меньше или больше 0 В. Биполярная симметрия графенового полевого транзистора нарушена, так что контактное сопротивление между истоком/стоком и графеном увеличено. Это также можно обнаружить из графика, при условии, что V_g является постоянной, когда напряжение (V_d) стока непрерывно увеличивается на приращения в 5 мВ, электрический ток (I_d) стока существенно увеличивается на соответствующие приращения. Другими словами, электрический ток (I_d) стока является пропорциональным напряжению (V_d) стока, а это означает, что графеновый тонкопленочный транзистор имеет отличные электрические характеристики.

В способе изготовления графенового тонкопленочного транзистора, предоставляемом предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения, слой металла толщиной 10 нм осаждают на поверхность слоя графена таким образом, что слой графена и слой-подложка не входят в контакт с фоторезистом, используемым в последующем процессе, таким образом устраняется проблема остатков на поверхности графена, и электрод истока и электрод стока полностью контактируют со слоем графена, при этом контактное сопротивление между электродом истока/электродом стока и графеном уменьшено и электрический ток в графеновом тонкопленочном транзисторе увеличен. Это решает проблему увеличения контактного сопротивления между электродом истока/электродом стока и графеном из-за оставшихся РММА и фоторезиста на поверхности графена в традиционном способе изготовления.

При этом поверхность слоя графена имеет шероховатость меньше 0,1 нм в графеновом тонкопленочном транзисторе, изготовленном по способу согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения. Такая шероховатость является намного меньшей, чем шероховатость поверхности, составляющая 1 нм, слоя графена в графеновом тонкопленочном транзисторе, изготовленном согласно уровню техники. Как можно видеть, графеновый тонкопленочный транзистор, изготовленный согласно способу изготовления предпочтительного варианта осуществления, имеет лучшие электрические характеристики.

Настоящее изобретение было описано выше с помощью предпочтительных вариантов осуществления. Тем не менее, является понятным, что настоящее изобретение не ограничено описанными выше предпочтительными вариантами осуществления и много изменений и модификаций могут быть осуществлены без отступления от объема и сущности настоящего изобретения, которые должны быть ограниченными только приложенной формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора, включающий:

S1: осаждение слоя графена на поверхность медной фольги посредством химического осаждения из паровой фазы с использованием метана в качестве источника углерода;

S2: осаждение слоя металла на поверхность слоя графена;

S3: присоединение слоя-подложки к поверхности слоя металла с образованием графеновой пленки;

S4: размещение графеновой пленки в растворе для травления меди, частичное погружение слоя-подложки в раствор для травления меди и полное погружение слоя металла, слоя графена и медной фольги в раствор для травления меди до полного растворения медной фольги, затем перемещение графеновой пленки, с которой удалена медная фольга, на целевую подложку и удаление слоя-подложки, при этом плотность слоя-подложки меньше плотности раствора для травления меди; и

S5: определение структур истока и стока на поверхности слоя металла, изготовление электрода истока и электрода стока и изготовление электрода затвора на стороне целевой подложки, противоположной слою графена, с получением графенового тонкопленочного транзистора.

2. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.1, отличающийся тем, что перед S1 способ дополнительно включает последовательное промывание медной фольги в этаноле, ацетоне и разбавленной хлороводородной кислоте с концентрацией 0,5 моль/л.

3. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.1, отличающийся тем, что слой металла осаждают на поверхность слоя графена посредством электронно-лучевого напыления или магнетронного напыления.

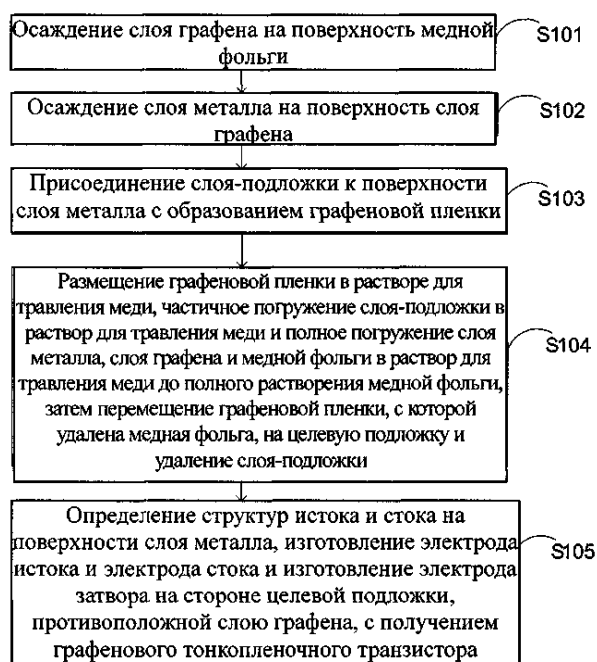
4. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.1, отличающийся тем, что слой металла имеет толщину в диапазоне 5-50 нм.

5. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.4, отличающийся тем, что каждый из слоев, входящих в составной слой металла, имеет одинаковую толщину, если слой металла представляет собой составной слой металла.

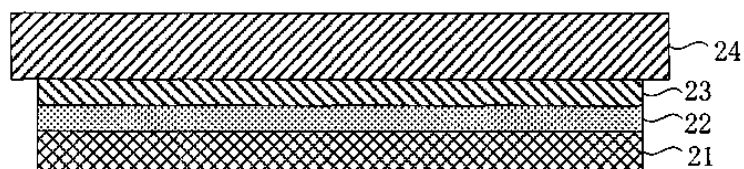
6. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.4, отличающийся тем, что в слое металла используется металл, в том числе титан, золото, никель, палладий или платина.

7. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.1, отличающийся тем, что слой-подложка содержит полиуретан.

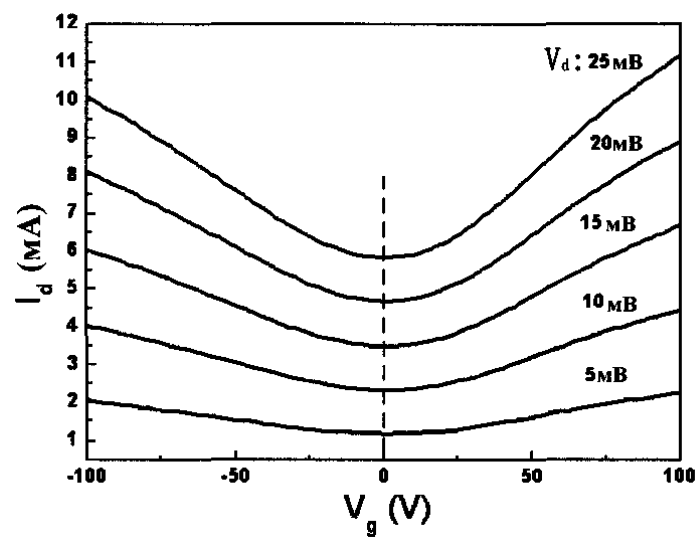
8. Способ изготовления графенового тонкопленочного транзистора по п.1, отличающийся тем, что целевая подложка содержит изоляционный слой, причем материал изоляционного слоя включает диоксид кремния, карбид кремния, стекло или сапфир.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2