(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 034019 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.19

(21) Номер заявки
201692406

(22) Дата подачи заявки
2015.05.22

(51) Int. Cl. ***G06F 3/044*** (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)
C30B 29/20 (2006.01)
C30B 33/04 (2006.01)
G02B 1/11 (2015.01)
G02B 1/12 (2006.01)

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО САПФИРОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ УКАЗАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИНТЕРВАЛЕ ДЛИН ВОЛН 400-800 нм

(31) **1401172; 1402293**
(32) **2014.05.23; 2014.10.09**
(33) **FR**
(43) **2017.04.28**
(86) **PCT/EP2015/061363**
(87) **WO 2015/177334 2015.11.26**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
КЕРТЕК (FR)

(72) Изобретатель:
Герналек Фредерик, Бусардо Дени (FR)

(74) Представитель:
Перегудова Ю.Б., Фелицына С.Б. (RU)

(56) KIRKPATRICK A. ET AL.: "EFFECT OF ION IMPLANTATION ON THE STRENGTH OF SAPPHIRE AT 300-600°C", JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DORDRECHT, vol. 36, no. 9, 1 May 2001 (2001-05-01), pages 2195-2201, XP001048280, ISSN: 0022-2461, DOI: 10.1023/A:1017596001471, page 2196, column 1, line 1 - page 2197, column 1, line 15; figures 1-3; table 1

CHAIWONG C. ET AL.: "Optical property modification of ruby and sapphire by N-ion implantation", SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 196, no. 1-3, 22 June 2005 (2005-06-22), pages 108-112, XP027609147, ISSN: 0257-8972, [retrieved on 2005-06-22], page 108, column 2, line 17 - page 110, column 2, cinq dernieres lignes; page 111, column 2; figure 2

DEMAREE J.D. ET AL.: "Modification of single-crystal sapphire by ion implantation", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 127-128, 2 May 1997 (1997-05-02), pages 603-607, XP027296372, ISSN: 0168-583X, [retrieved on 1997-05-02], page 603, column 2, line 11 - page 605, column 2, line 19; figures 1-2

EP-A2-2772565

WO-A1-2009151160

A. AL GHAMDI ET AL.: "Ion beam excited luminescence of sapphire", NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, vol. 46, no. 1-4, 1 February 1990 (1990-02-01), pages 133-136, XP055197539, ISSN: 0168-583X, DOI: 10.1016/0168-583X(90)90684-M, the whole document

(57) Способ обработки поверхности детали из синтетического сапфирового материала для модификации отражающих свойств указанной поверхности в интервале длин волн 400-800 нм включает облучение поверхности сапфирового материала пучком одно- и/или многозарядных ионов газа таким образом, чтобы создать ионно-имплантированный слой в сапфировом материале, при этом ускоряющее напряжение составляет величину в диапазоне 5-1000 кВ; доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа каждого ионного пучка на единицу площади поверхности составляет величину в диапазоне 10^{12}-10^{18} ионов/см^2; а ионы одно- и/или многозарядных ионов газа выбраны из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S). Дозу имплантируемых одно- и/или многозарядных ионов газа и ускоряющее напряжение выбирают так, чтобы получить модифицированный отражённый цвет обработанной поверхности сапфирового материала по сравнению с необработанной поверхностью сапфирового материала, причем доминирующая длина волны λ_{DT} отражённого цвета обработанной поверхности сапфирового материала сдвинута по меньшей мере на +50 нм или по меньшей мере на -50 нм от доминирующей длины волны λ_{DU} отражённого цвета необработанной поверхности сапфирового материала.

034019 B1

034019 B1

Изобретение относится к способу обработки для модификации отражённого цвета поверхности сапфирового материала, включающему облучение пучком одно- и/или многозарядных ионов газа.

Изобретение также относится к детали, изготовленной из синтетического сапфирового материала, содержащего по меньшей мере одну поверхность, обработанную в соответствии с указанным способом обработки.

В соответствии с настоящим изобретением "сапфирный материал" представляет собой материал, по существу, состоящий из корунда, т.е. оксида алюминия (α-Al_2O_3). Сапфировый материал может включать следовые количества элементов, таких как железо, титан, хром, медь или магний, которые могут придать корунду соответственно синий, жёлтый, фиолетовый, оранжевый или зеленый цвет. Примеси хрома в корунде дают розовый или красный оттенок, последний обычно называют "рубином"; рубины являются частью сапфировых материалов в соответствии с редакцией настоящего изобретения. Цвет обусловлен появлением уровней энергии в запрещённой зоне корунда из-за наличия примесей. Эти уровни изменяют спектры испускания и поглощения материала и, следовательно, его цвет. Другие следы элементов также могут быть частью сапфирового материала.

Сапфировый материал включает по меньшей мере 98 мас.% оксида алюминия, например по меньшей мере 99 мас.% оксида алюминия, например по меньшей мере 99,9 мас.% оксида алюминия.

Сапфировый материал может быть изготовлен из одного или из множества монокристалла(ов) корунда; он может таким образом быть поликристаллическим; в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения сапфировый материал является частью одного монокристалла корунда.

Сапфировый материал может быть природным или синтетическим; в соответствии с вариантом осуществления изобретения сапфировый материал представляет собой синтетический сапфировый материал.

С начала 19-го века было известно, как изготавливать синтетические сапфиры (и синтетические рубины) в лаборатории, химический состав и физические свойства которых такие же, что и природных камней. Эти синтетические драгоценные камни можно распознать в общем случае по изогнутым линиям кристаллизации, по меньшей мере, для самых старых производств.

Производство синтетического сапфирового материала в настоящее время находится на промышленной стадии. Синтетический сапфировый материал может быть, например, получен процессом Чохральского или с помощью способов, являющихся производными процесса Чохральского (например, описанный в примере способ Киропулоса, способ Багдасарова, способ Степанова, EFG ((процесс) вертикального выращивания ленточных и стержневых монокристаллов); синтетический сапфировый материал также может быть получен из агломерированного оксида алюминия, спечённого и расплавленного (например, с помощью горячего изостатического прессования) в инертной атмосфере, с получением прозрачного, но слегка пористого поликристаллического продукта.

Сапфировые материалы также известны как "Blue Glass" или "сапфировое стекло", даже если они не являются, по существу, стеклом, а кристаллическим материалом.

В физических единицах синтетический сапфировый материал является очень твёрдым кристаллическим материалом (твёрдость равна 9 по шкале Мооса), принадлежащим к семейству корунда, имеющему очень высокий показатель преломления, равный 1,76.

Сапфиры могут подвергаться термической обработке; драгоценные камни, которые являются слишком светлыми, слишком тёмными или с высоким содержанием включений могут быть нагреты. Этот процесс позволяет усилить цвет и прозрачность, растворяя при этом элементы, присутствующие в виде следов в камнях.

Из-за своей высокой стойкости к царапинам синтетический сапфировый материал используется в широком диапазоне применений, таких как экраны, например часовые стёкла, окна, сенсорные экраны, детали осветительных устройств, детали светоизлучающих устройств (LED), оптические компоненты, например линзы устройств или объективов фотокамер. Использование синтетических сапфировых материалов в области смартфонов, например, может быть особенно актуальным.

Обычно доступный сапфировый материал, по существу, является бесцветным и, по существу, нейтральным по цветности.

Тем не менее, существует необходимость в цветных сапфировых материалах, которые могут быть пригодны для многих применений.

Например, ювелирные изделия могут использовать преимущество механических свойств сапфирового материала и желание получить широкий диапазон цветов указанного материала, которые могут быть скорректированы или выбраны в соответствии с дизайном или эстетическими потребностями.

Что касается другого примера, светотехнической промышленности, также могут потребоваться цветные сапфировые материалы для изготовления цветных фильтров.

В качестве другого примера для производства экранов также могут потребоваться цветные сапфировые материалы для изготовления цветных экранов.

Целью изобретения является создание способа модификации отражённого цвета сапфирового материала, который открывает новые направления; предпочтительно, указанный способ является недорогим или даже если является недорогим и подходящим для обработки поверхностей, отвечает потребностям

многочисленных применений.

С этой целью задачей изобретения является способ обработки для модификации отражённого цвета поверхности сапфирового материала, включающий облучение пучком одно- и/или многозарядных ионов газа так, чтобы получить ионно-имплантированный слой в сапфировом материале, при этом

ускоряющее напряжение выбрано в диапазоне 5-1000 кВ;

доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности каждого пучка ионов выбрана в диапазоне 10^{12}-10^{18} ионов/см^2; и

доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа и ускоряющее напряжение дополнительно выбраны так, чтобы получить модифицированный отражённый цвет обработанной поверхности сапфирового материала по сравнению с необработанной поверхностью сапфирового материала; и,

ионы одно- и/или многозарядных ионов газа выбраны из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S).

Благодаря указанному способу обработки можно достичь изменения отражённого цвета сапфирового материала.

Благодаря указанному способу обработки можно обработать поверхности сапфирового материала в соответствии с различными требованиями многочисленных применений. Из этих применений можно упомянуть сенсорные экраны, окна, часовые стёкла, детали светоизлучающего устройства (LED), детали осветительного устройства, оптические компоненты, такие как, например, линзы устройства.

Новые применения сапфирового материала также могут быть разработаны благодаря способу обработки по изобретению.

Кроме того, способ обработки по настоящему изобретению может быть реализован благодаря экономически эффективным устройствам. Он также может быть реализован так, чтобы получить высокие уровни производительности.

Таким образом, настоящее изобретение открывает новые пути для обработки и использования сапфировых материалов.

Цветной сапфировый материал, полученный благодаря способу обработки по настоящему изобретению, также имеет антибликовые свойства.

Хорошо известно, что поверхность синтетического сапфирового материала отражает около 15,5% падающего на неё света. Такое высокое отражение света может быть недостатком, при желании прочитать информацию за окном сапфирового материала; это может фактически уменьшить способность считывания, например, часов или плоского экрана компьютера или мобильного телефона.

Это отражение света на поверхности синтетического сапфирового материала в более общем плане выражается уравнениями Френеля, дающими для светового луча, проходящего через границу раздела под углом падения 90°, следующие коэффициенты отражения (R) и пропускания (T):

$$R = ((nS-nM)/(nS+nM))^2;$$

$$T = 4.nM.nS/(nS+nM)^2.$$

Коэффициент отражения (R) также обычно называют "коэффициентом отражения мощности" или "отражением"; коэффициент пропускания (T) также обычно называют "коэффициентом пропускания мощности" или "пропусканием".

В формуле во всём настоящем документе знак "·" представляет знак умножения, если он заключён между двумя параметрами; знак "×", также может быть использован для обозначения знака умножения.

nS и nM являются показателями преломления в диапазоне видимого света (значение длины волны в интервале 400-800 нм), соответственно сапфирового материала и среды, примыкающей к сапфировому материалу и отделённой от него границей раздела.

Следует отметить, что R+T=1 (закон сохранения энергии).

Что касается примера, можно вычислить R и T для конфигурации воздух/сапфировый материал, где nM=1 для воздуха (где nM=nA, показатель преломления воздуха) и nS=1,76 для примера синтетического сапфирового материала; здесь вышеприведённые формулы дают следующие результаты:

$$R = 0,0758 \text{ и } T = 1 - R = 0,9242;$$

Таким образом, 7,6% света отражается, тогда как 92,4% света проходит из-за разницы показателей преломления между указанными сапфировым материалом и воздухом. Этот уровень отражения света можно рассматривать как высокий и как недостаток для некоторых применений.

Этот недостаток еще более важен при рассмотрении сапфирового материала, окружённого двумя слоями воздуха, имеющего таким образом две границы раздела воздух/сапфировый материал. Для такой полосы синтетического сапфирового материала, состоящего из двух сторон, потери на отражение в два раза больше, т.е. 2×7,6%=15,2%. Это высокое отражение затрудняет считывание данных, находящихся под экраном сапфирового материала или часового стекла.

Благодаря способу обработки по настоящему изобретению также можно выполнить антибликовую обработку сапфирового материала; такая антибликовая обработка может привести к подходящему пропусканию, а именно в видимом диапазоне. В соответствии с изобретением можно получить пропускание,

которое никогда ранее не было достигнуто. В соответствии с вариантом осуществления изобретения отражение падающей волны в видимом диапазоне может быть уменьшено по меньшей мере на одну треть, например на половину, по сравнению с отражением падающей волны в видимой области спектра на необработанном сапфировом материале, например для падающей длины волны 560 нм.

В соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения, которые могут быть объединены в соответствии со всеми технически значимыми вариантами

ионы одно- и/или многозарядных ионов газа выбраны из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), азота (N) и кислорода (O), например, из списка, состоящего из азота (N) и кислорода (O), например ионы одно- и/или многозарядных ионов газа являются ионами кислорода (O);

ионы для облучения пучком одно- и/или многозарядных ионов газа получаются с помощью источника электронного циклотронного резонанса (ЭЦР);

ионы газового пучка являются одно- и многозарядными и пучок включает 10% многозарядных ионов или более 10% многозарядных ионов;

ускоряющее напряжение выбрано в диапазоне 10-100 кВ;

доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности выбрана в диапазоне 10^{16}-10^{18} ионов/см^2, например выбрана в диапазоне $2\cdot10^{16}$-$2\cdot10^{17}$ ионов/см^2;

доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности выбрана для получения концентрации атомов имплантированных ионов более или равной 5% и равной или менее 20%;

сапфировый материал может быть перемещён по отношению к пучку одно- и/и многозарядных ионов газа со скоростью V_D в интервале 0,1-1000 мм/с; в соответствии с вариантом осуществления изобретения одна и та же зона сапфирового материала перемещается под пучком одно- и/или многозарядных ионов газа по нескольким направлениям NP со скоростью V_D;

обработка включает облучение поверхности сапфирового материала посредством нескольких пучков одно- и/или многозарядных ионов газа так, чтобы получить ионно-имплантированный слой в сапфировом материале, при этом ускоряющее напряжение и/или элемент ионов одних пучков отличаются от других пучков ионов газа;

способ включает облучение первой и второй поверхности сапфирового материала, каждую одним или несколькими пучком(ами) одно- и/или многозарядных ионов газа, с тем чтобы создать в сапфировом материале на первой поверхности сапфирового материала и ионно-имплантированный слой на второй поверхности сапфирового материала, в котором первая и вторая поверхности сапфирового материала, по существу, являются параллельными поверхностями, разделёнными прозрачной средой, при этом ускоряющее напряжение и/или элементы пучка ионов при обработке второй поверхности сапфирового материала отличаются от соответственно ускоряющего напряжения(й) и/или элементов пучка(ов) ионов для обработки первой поверхности сапфира материала;

используют различные пучки ионов газа и ионы различных пучков ионов газа являются ионами одного и того же элемента и ускоряющее напряжение ионных пучков одного пучка ионов газа отличаются от другого пучка ионов газа; в соответствии с вариантом осуществления изобретения, ускоряющее напряжение ионных пучков отличается от величины, составляющей 5-50 кВ, например от величины, составляющей 10-20 кВ;

ускоряющее напряжение и доза имплантируемых одно- и/или многозарядных ионов газа дополнительно выбраны в соответствии с дополнительными правилами выбора; в качестве примеров

дополнительные правила выбора могут включать данные, полученные с использованием на стадии предшествующей облучению пучком одно- и/или многозарядных ионов газа обрабатываемого сапфирового материала, причём

указанная стадия заключается в выборе одного типа пучка одно- и/или многозарядных ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S), выполнении нескольких экспериментов с сапфировым материалом, аналогичным обрабатываемому материалу, используя указанные ионы для облучения и изменяя дозу имплантируемых одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и ускоряющее напряжение до определения искомого диапазона дозы имплантируемых одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и диапазона ускоряющего напряжения, для создания ионно-имплантированного слоя, подходящего для получения модифицированного отражённого цвета поверхности сапфирового материала;

выбор дозы одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и значения ускоряющего напряжения в пределах диапазонов предыдущей стадии и обработки сапфирового материала указанными ионами при указанных значениях;

данные, полученные из нескольких экспериментов, собирают и обрабатывают таким образом, чтобы получить основные принципы изменения цвета поверхности сапфира в соответствии с элементом пучка одно- и/или многозарядных ионов, ускоряющим напряжением и дозой ионов на единицу площади поверхности;

выбор элемента пучка одно- и/или многозарядных ионов, дозы одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и величины ускоряющего напряжения производится так, чтобы соответствовать требованиям к искомому цвету отражённого цвета поверхности сапфирового материала.

Настоящее изобретение также относится к детали, изготовленной из синтетического сапфирового материала, включающего по меньшей мере одну поверхность, обработанную в соответствии со способом по любому из предшествующих пунктов, в котором доминирующая длина волны λ_{DT} отражённого цвета обработанной поверхности сдвинута по меньшей мере на +50 нм или по меньшей мере на -50 нм от доминирующей длины волны λ_{DU}, отражённого цвета поверхности необработанного сапфирового материала, например, сдвинута по меньшей мере на +100 нм или по меньшей мере на -100 нм.

Настоящее изобретение также относится к использованию способа обработки в соответствии с любым вариантом осуществления вышеуказанного способа для обработки твёрдой детали, изготовленный из синтетического сапфирового материала, выбранной из списка, состоящего из экрана, например сенсорный экран, окна, часового стекла, детали осветительного устройства, такой как деталь устройства светового излучения (LED), оптического компонента, такого как линза устройства.

Настоящее изобретение также относится к окрашенному сапфировому материалу, содержащему по меньшей мере одну поверхность с ионно-имплантированными элементами из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S), в котором отражение падающей волны в видимой области спектра от указанной поверхности равно или менее 2%, например, равно или менее 1% по измерению при длине волны 560 нм.

Когда также желательны антибликовые свойства в видимом диапазоне, могут быть реализованы следующие варианты осуществления изобретения:

облучение пучком одно- или многозарядных ионов газа, создаваемым источником электронного циклотронного резонанса (ЭЦР), где

доза имплантированных одно- и многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности выбрана в диапазоне 10^{12}-10^{18} ионов/см^2 для получения атомной концентрации ионов газа такой, чтобы показатель преломления n имплантированного слоя был приблизительно равен $(nA \cdot nS)^{1/2}$, где nA показатель воздуха и nS показатель синтетического сапфирового материала;

ускоряющее напряжение выбрано в диапазоне 5-1000 кВ для получения толщины имплантированного слоя e равной $p\lambda/4n$, где e является толщиной имплантированного слоя соответствующей зоны имплантации, где атомная концентрация имплантированных одно- и многозарядных ионов газа больше или равна 1%, где p обозначает целое число, λ длина падающей волны и nL показатель имплантированного слоя;

в указанном способе одно- и многозарядные ионы газа ионного пучка могут быть выбраны из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe);

в указанном способе одно- и многозарядных ионы газа ионного пучка могут быть выбраны из ионов газов из списка, состоящего из азота (N_2) и кислород (O_2);

в указанном способе ускоряющее напряжение выбрано так, чтобы получить толщину имплантированного слоя, равную $p \cdot 100$ нм, где p обозначает целое число;

в указанном способе доза имплантированных одно- или многозарядных ионов газов на единицу площади поверхности может быть выбрана для получения атомной концентрации имплантированных ионов равной 10% с погрешностью (+/-)5%;

в указанном способе выбор дозы имплантированных одно- и многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и выбор ускоряющего напряжения могут быть сделаны посредством расчёта, выполненного ранее для оценки дозы имплантированных одно- или многозарядных ионов газа для получения концентрации имплантированных атомов равной 10% с погрешностью (+/-)5% на основе профиля ионной имплантации, выбранного в зависимости от глубины имплантации;

Примеры далее будут описаны со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых

фиг. 1 представляет эскиз кристалла сапфирового материала;

фиг. 2-6 являются спектрами пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению;

фиг. 7-10 представляют схемы, используемые для обсуждения результатов с образцами сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению;

фиг. 11-14 иллюстрируют примеры модификации отражённого цвета поверхности сапфировых материалов по способу согласно настоящему изобретению;

фиг. 15-19 представляют спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению.

Некоторые элементы на фигурах показаны для простоты и ясности и не обязательно вычерчены в масштабе. Тем не менее, спектры пропускания приведены в масштабе. Спектры пропускания иллюстрируют изменение коэффициента (или коэффициентов) пропускания (T) (также обычно называемого "коэффициентом пропускания мощности" или "пропусканием") в зависимости от длины волны света. Диапазон длин волн включает видимый диапазон длин волн.

Спектры пропускания получают измерением, выполненным с помощью спектрофотометра, где падающий луч света проходит через две основные грани образца и где пропускание света через указанный образец измеряют при большом числе длин волн. Указанные две основные грани, как правило, являются параллельными гранями.

Спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанные способом по настоящему изобретению, измерены с помощью спектрофотометра UV-5200 UV/VIS поставляемого METASH Company. В этих измерениях среда, примыкающая (и контактирующая) к каждой из основных граней образцов сапфирового материала, является воздухом.

Фиг. 1 представляет эскиз монокристалла сапфирового материала, где можно выделить основные кристаллографические характеристики такого кристалла; структура монокристалла сапфира (корунда) может быть представлена упорядоченным октаэдром, в которой O^{2-} ионы находятся в вершинах (пиках) октаэдров и ионы Al^{3+} находятся внутри октаэдров. Фиг. 1 представляет структуру основных плоскостей кристалла сапфира, соответствующих системе структуры сапфира. На этой фиг. показаны следующие плоскости: C-плоскость (0001); A-плоскость (1120) и R-плоскость (1012). Номенклатура соответствует обычной кристаллографической номенклатуре.

Как указано в описании выше, обычно доступный сапфировый материал, по существу, бесцветный и, по существу, нейтральный в плане цветности. Как указано в описании выше, каждая грань необработанного образца сапфирового материала отражает около 7,75% падающего света; таким образом, пропускание необработанного образца сапфирового материала составляет около 84,5% в видимом диапазоне.

Авторы настоящего изобретения провели испытания образцов сапфирового материала, которые были обработаны в соответствии с настоящим изобретением.

Использованные образцы сапфирового материала либо круглые или квадратные пластины диаметром соответственно один дюйм и со стороной 10 мм; их толщина равна или менее 1 мм.

В следующих примерах эти одно- и многозарядные ионы газа излучаются источником ЭЦР (источник электронного циклотронного резонанса).

Фиг. 2-5 представляют спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению, которые были измерены после обработки образцов сапфирового материала в соответствии со следующими экспериментальными условиями:

так, на фиг. 2-5 пучок одно- и/или многозарядных ионов газа представляет собой пучок одно- и многозарядных ионов кислорода O^{+}, O^{2+} O^{3+}; расчётное распределение ионов O следующее: 60% O^{+}, 30% O^{2+}, 10% O^{3+}.

Так, на фиг. 2, 3 обработана только грань образцов сапфирового материала.

Так, на фиг. 4, 5 обработаны обе грани образцов сапфирового материала.

Так, на фиг. 2-4 обработана (ы) плоскость (и) A образцов сапфирового материала.

Так, на фиг. 3-5 обработана (ы) плоскость (и) C образцов сапфирового материала.

В следующих данных ионные дозы (далее называемые "доза") выражаются в 10^{16} ионов/см^2 и ускоряющее напряжения (далее называемое "напряжение") выражается в кВ.

На фиг. 2 кривая 20 относится к необработанным образцам сапфирового материала; кривая 21 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 11 и напряжением = 17,5; кривая 22 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5 и напряжением = 25; кривая 23 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15 и напряжением = 32,5.

На фиг. 3 кривая 30 относится к необработанному образцу сапфирового материала; кривая 31 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 11 и напряжением = 17,5; кривая 32 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5 и напряжением = 25; кривая 33 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15 и напряжением = 32,5.

На фиг. 4 кривая 40 относится к необработанному образцу сапфирового материала; кривая 41 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 11 и напряжением = 17,5; кривая 42 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5 и напряжением = 25; кривая 43 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15 и напряжением = 32,5.

На фиг. 5 кривая 50 относится к необработанному образцу сапфирового материала; кривая 51 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 11 и напряжением = 17,5; кривая 52 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5 и напряжением = 25; кривая 53 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15 и напряжением = 32,5.

Благодаря этим данным можно учесть влияние множества параметров процесса.

Фиг. 2, 3 можно соответственно сравнить с фиг. 4, 5, чтобы продемонстрировать воздействие обработки одной грани по сравнению с обработкой двух граней.

Измеренные результаты, представленные на фиг. 2-5, показывают, что облучение поверхности сапфирового материала в соответствии с настоящим изобретением модифицирует отражённый цвет поверхности сапфирового материала.

Отражённый цвет поверхности образцов сапфирового материала, соответствующих кривым 21, 31, 41 и 51, где напряжение составляет 17,5 кВ, по существу, является оранжевым.

Отражённый цвет поверхности образцов сапфирового материала, соответствующих кривым 22, 32, 42 и 52, где напряжение составляет 25 кВ, по существу, является фиолетовым.

Отражённый цвет поверхности образцов сапфирового материала, соответствующих кривым 23, 33, 43 и 53, где напряжение составляет 32,5 кВ, по существу, является тёмно-синим.

Соответственно можно выбрать отражённый цвет поверхности сапфирового материала и выбрать соответствующие параметры способа обработки, которые позволяют получить искомый цвет.

На основе такого типа экспериментов можно собрать данные и их обработать так, чтобы разработать дополнительные принципы изменения цвета поверхности сапфира в соответствии с элементом (здесь, кислород) пучка одно- и/или многозарядных ионов, ускоряющим напряжением и ионной дозой на единицу площади поверхности.

Результаты измерения, представленные на фиг. 2-5, показывают, что облучение поверхности сапфирового материала, к указанной поверхности примыкает среда, отличающаяся от сапфирового материала, с помощью пучка одно- и/или многозарядных ионов газа также подходит для получения ионно-имплантированного слоя в сапфировом материале, который обеспечивает антибликовую обработку в видимом диапазоне.

Неожиданно очень высокое пропускание было достигнуто в видимом диапазоне.

Синтетический сапфировый материал, включающий по меньшей мере одну ионно-имплантированную поверхность, был получен, когда отражение падающей волны в видимой области спектра на указанной поверхности равно или менее 2%, как, например, равно или менее 1%, по измерению при длине волны 560 нм.

Благодаря результатам, представленным на фиг. 2-5, можно определить предпочтительные диапазоны для реализации способа в соответствии с настоящим изобретением.

Определение указанных предпочтительных диапазонов является путём обеспечения дополнительных правил выбора для выбора ионов элемента, ускоряющего напряжения и дозы облучения одно- и/или многозарядными ионами газа в соответствии с необходимостью.

Фиг. 6-10 иллюстрируют данные, которые могут быть пригодны для выбора параметров при использовании кислорода в качестве одно- и/или многозарядных ионов.

Спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению, могут быть проанализированы на основе фиг. 6; три параметра определяются на основе спектры пропускания (60), где P является положением пика пропускания (нм), D представляет собой изменчивость параметра (единицы пропускания), L представляет собой ширину (нм) спектра пропускания, соответствующую изменчивости D. Фиг. 7, 8 иллюстрируют изменение положение пика пропускания (соответственно, кривые 70 и 80) в соответствии с ускоряющим напряжением для соответствующих плоскостей A и C сапфирового материала.

Благодаря такому спектру можно выбрать ускоряющее напряжение для получения искомого цвета.

Фиг. 9 представляет зависимость ширины спектра пропускания (L) в зависимости от изменчивости параметра (D) для сапфирового материала, обработанного по плоскости A.

Фиг. 10 представляет изменение ширины спектра пропускания (L) в зависимости от изменчивости параметра (D) для сапфирового материала, обработанного по плоскости C.

Различные другие представления данных могут быть использованы для создания дополнительных правил выбора для получения искомого цвета.

Как показывают вышеуказанные результаты, способ обработки по изобретению может быть использован так, чтобы ионно-имплантированный слой на одной поверхности сапфирового материала или может быть использован так, чтобы несколько ионно-имплантированных слоев на первой и второй поверхностях сапфирового материала, где первая и вторая поверхности сапфирового материала, по существу, являются параллельными поверхностями и разделены прозрачной средой.

Фиг. 11-14 иллюстрируют примеры модификации отражённого цвета поверхностей сапфирового материалов способом по настоящему изобретению, при использовании нескольких пучков одно- и/или многозарядных ионов газа так, чтобы получить ионно-имплантированный слой в сапфировом материале; аналогичные результаты могут быть получены при использовании нескольких ионно-имплантированных слоев на первой и второй поверхностях сапфирового материала, в котором первая и вторая поверхности сапфирового материала, по существу, являются параллельными поверхностями, разделёнными прозрачной средой.

Фиг. 11 является схемой, представляющей влияние первого, 110, и второго, 111, пучков многозарядных ионов кислорода на пропускание в пределах видимого диапазона, причём ускоряющее напряжение отличается для двух пучков ионов газа. Разницу в положении пиков ΔP можно видеть для двух кривых 110, 111. Ускоряющее напряжение находится, например, в диапазоне 10-50 кВ, как, например, в диапазоне 15-35 кВ, и разность ускоряющего напряжения между граничными значениями составляет 5-50 кВ, 10-20 кВ. Авторы настоящего изобретения определили колориметрические свойства, полученные посредством комбинации таких кривых, и соответствующие данные представлены на фиг. 12.

На фиг. 12 приведены результаты в цветовом пространстве CIE 1931 на основе CIE xy диаграммы цветности. Внешняя изогнутая граница 120 является спектральным локусом, с длиной волны в наномет-

рах. Диаграмма представляет все цветности видимые обычному человеку. Такие диаграммы обычно используются в области представления цветовой информации и интерпретация таких диаграмм хорошо известна специалисту в данной области техники. Точка 121 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 15 и 25 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет розовый. Точка 122 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 20 и 30 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет пурпурно-розовый. Точка 123 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 25 и 35 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет фиолетовый/синий.

Фиг. 13 является схемой, представляющей влияние первого (131), второго (132), а третьего (133) пучков многозарядных ионов кислорода на пропускание в пределах видимого диапазона, причём ускоряющее напряжение отличается для двух пучков ионов газа. Разницу положения пиков ΔР можно видеть между двумя крайними кривыми 131, 133. Ускоряющее напряжение определены в тех же диапазонах, что и на фиг. 11.

Фиг. 14 представляет результаты в цветовом пространстве CIE 1931 на основе CIE xy диаграммы цветности. Граничная кривая 140 является спектральным локусом, с длиной волны в нанометрах. Точка 141 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 10, 20 и 30 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет светло-желтовато-розовый. Точка 142 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 12,5, 22,5 и 32,5 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет является нейтральным. Точка 143 соответствует цветности поверхности сапфирового материала, обработанного пучками 15, 25 и 35 кВ многозарядных ионов кислорода; соответствующий цвет светло-голубой.

На CIE xy диаграмме цветности фиг. 14, представлен "квадрат нейтрального цвета" определяемый прямоугольником 146, примыкающим к нейтральной точке 145. Точка 142 находится в пределах указанного квадрата нейтрального цвета.

Сочетание нескольких пучков многозарядных ионов кислорода в соответствии с настоящим изобретением позволяет тонко регулировать отражённый цвет поверхности сапфирового материала. Как показано в описании выше, способ по настоящему изобретению также позволяет создавать нейтральный отражённый цвет поверхности сапфирового материала с ионно-имплантированным слоем. Соответственно можно получить антибликовую поверхность нейтрального цвета.

Получение нейтрального отражённого цвета поверхности сапфирового материала с ионно-имплантированным слоем возможно комбинацией нескольких профилей пропускания, соответствующих различным ускоряющим напряжениям так, чтобы получить плоский и постоянный профиль пропускания.

В соответствии с осуществлением и для получения плоского и постоянного профиля пропускания между 96 и 97%, расположенного между синим (400 нм) и красный (800 нм) цветом, авторы настоящего изобретения также приводят следующий пример обработки облучением, выполняемом в две стадии:

первая обработка облучения ионами с вытягивающим напряжением приблизительно на 10% меньше опорного вытягивающего напряжения (подходящего для получения жёлтого отсвечивания под углом 45°) и дозой, соответствующей половине эталонной дозы (используемой для получения такого же жёлтого отсвечивания под углом 45°), другими словами, напряжением приблизительно равным 20 кВ и дозой, равной $0{,}75\times10^{17}$ ион/см^2;

вторая обработка облучением ионами с вытягивающим напряжением приблизительно на 10% больше опорного вытягивающего напряжения (подходящего для получения жёлтого отсвечивания под углом 45°), и дозой, соответствующей половине эталонной дозы (используемой для получения такого же жёлтого отсвечивания под углом 45°), другими словами, напряжением приблизительно равным 25 кВ.

Эта двухстадийная обработка позволяет преимущественно создать плоский и постоянный профиль пропускания между синим (400 нм) и красным (800 нм) цветом, сохраняя при этом по существу высокое пропускание жёлтого цвета (560 нм).

Фиг. 15-19 показывают спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению, которые были измерены после обработки образцов сапфирового материала в соответствии со следующими экспериментальными условиями:

так, на фиг. 15-18 пучок одно- и/или многозарядных ионов газа представляет собой пучок одно- и многозарядных ионов азота N^+, N^{2+}, N^{3+}; оценка распределения ионов N выглядит следующим образом: 57% N^+, 32% N^{2+}, 11% N^{3+}; только одна грань образцов сапфирового материала была обработана.

Так, на фиг. 15, 16 была обработана плоскость А образцов сапфирового материала.

Так, на фиг. 17, 18 была обработана плоскость С образцов сапфирового материала.

В следующих данных ионные дозы (далее называемые "доза") приводятся в 10^{16} ионов/см^2 и ускоряющее напряжение (далее называется "напряжение") приводится в кВ.

Так, на фиг. 15-17 напряжение = 20 кВ.

Так, на фиг. 16-18 напряжение = 25 кВ .

На фиг. 15 кривая 150 относится к образцу необработанного сапфирового материала; кривая 151 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 2,5; кривая 152 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 5; кривая 153 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 7,5;

кривая 154 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 10; кривая 155 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5; кривая 156 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15.

На фиг. 16 кривая 160 относится к образцу необработанного сапфирового материала; кривая 161 к образцу сапфирового материала, обработанного сдозой = 2,5; кривая 162 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 5; кривая 163 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 7,5; кривая 164 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 10; кривая 165 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5; кривая 166 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15; кривая 167 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 17,5.

На фиг. 17 кривая 170 относится к образцу необработанного сапфирового материала; кривая 171 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 2,5; кривая 172 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 5; кривая 173 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 7,5; кривая 174 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 10; кривая 175 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5; кривая 176 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 15; кривая 177 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 17,5.

На фиг. 18 кривая 180 относится к образцу необработанного сапфирового материала; кривая 181 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 2,5; кривая 182 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 5; кривая 183 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 7,5; кривая 184 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 10; кривая 185 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 12,5; кривая 186 к обрзацу сапфирового материала, обработанного дозой = 15; кривая 187 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 17,5.

Образцы, которые были обработаны с ускоряющим напряжением 20 кВ, являются фиолетовыми; образцы, которые были обработаны с ускоряющим напряжением 15 кВ, являются лиловыми.

Модификация отражённого цвета поверхности сапфирового материала таким образом может быть достигнута способом по изобретению при использовании ионов азота. Антибликующие свойства также могут быть достигнуты способом по изобретению при использовании ионов азота.

Фиг. 19 представляет спектры пропускания образцов сапфирового материала, обработанного способом по настоящему изобретению, которые измерены после обработки образцов сапфирового материала в соответствии со следующими экспериментальными условиями:

пучок одно- и/или многозарядных ионов газа представляет собой пучок одно- и многозарядных ионов аргона Ar^{+}, Ar^{2+}, Ar^{3+}; оценка распределения ионов Ar имеет следующий вид: 71% Ar^{+}, 23% Ar^{2+}, 6% Ar^{3+}; две грани образцов сапфирового материала были обработаны. Обрабатывают плоскость A сапфирового материала. Ускоряющее напряжение составляет 35 кВ. В последующих данных ионные дозы (далее называемые "доза") выражены в 10^{16} ионов/$см^2$:

Кривая 190 относится к образцу необработанного сапфирового материала; кривая 191 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 2,5; кривая 192 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 7,5; кривая 193 к образцу сапфирового материала, обработанного дозой = 10.

Модификация отражённого цвета поверхности сапфирового материала таким образом может быть достигнута способом по изобретению при использовании ионов аргона. Антибликующие свойства также могут быть достигнуты способом по изобретению при использовании ионов аргона.

На основе накопленных данных можно оценить с высокой достоверностью, что другие ионы должны быть пригодны для реализации способа по изобретению, и применимы к модификации отражённого цвета поверхности сапфирового материала.

В описании выше было показано, что ионы аргона (Ar) пригодны для реализации способа по изобретению; соответственно, ионы других "благородных" газов, как представляется, также подходят для реализации способа по изобретению, такие как гелий (He), неон (Ne), криптон (Kr) и ксенон (Xe).

В описании выше было показано, что ионы азота (N) и кислорода (O) подходят для реализации способа по изобретению; соответственно, другие соседние по периодической таблице ионы, как представляется, также подходят для реализации способа по изобретению, такие как бор (B), углерод (C), фтор (F), кремний (Si), фосфор (P) и сера (S).

На основании вышеприведённых результатов и комментариев специалисты в данной области техники могут использовать раскрытие настоящего изобретения и реализацию способа обработки с использованием нескольких пучков, в которых элементы ионных пучков отличается в различных пучках ионов газа. Указанные пучки могут быть использованы таким образом, чтобы создать ионно-имплантированный слой на одной поверхности сапфирового материала или могут быть использованы таким образом, чтобы создать несколько ионно-имплантированных слоев на первой и второй поверхностях сапфирового материала, где первая и вторая поверхности сапфирового материала, по существу, являются параллельными поверхностями и разделены прозрачной средой.

В соответствии с осуществлением антибликовая обработка ионным облучением сапфирового материала, используемая в настоящем изобретении, не требует длительного времени обработки (несколько секунд на 1 $см^2$ и с помощью микроускорителя).

Модификация отражённого цвета поверхности сапфирового материала, используемая в настоящем изобретении, может обеспечить их применение в промышленном контексте, где её стоимость не должна быть запретительной по отношению к затратам на сапфировую подложку (например, один $см^2$ сапфира для сенсорных панелей стоит около 4 евро, обработка одного $см^2$ в соответствии с изобретением стоит несколько центов).

Благодаря изобретению можно получить детали, изготовленные из синтетического сапфирового материала, включающего по меньшей мере одну поверхность, обработанную в соответствии со способом по любому из предшествующих пунктов, в котором доминирующая длина волны, λ_{DT}, отражённого цвета обработанной поверхности сдвинута по меньшей мере на +50 нм или по меньшей мере на -50 нм от доминирующей длины волны, λ_{DU}, отражённого цвета поверхности необработанного сапфирового материала, так, например, сдвинута по меньшей мере на +100 нм или по меньшей мере на -100 нм.

Способ обработки по настоящему изобретению может быть использован для обработки твёрдой детали из сапфирового материала, выбранной, например, из, но без ограничения, списка, состоящего из экрана, такого как, например, сенсорный экран, окна, часового стекла, детали осветительного устройства, такого как устройство светового излучения (LED), оптического компонента, такого как, например, линзы устройства.

Изобретение было описано выше с помощью осуществления без ограничения общей концепции изобретения; в частности, параметры не ограничиваются обсуждаемыми примерами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обработки поверхности детали из синтетического сапфирового материала для модификации отражающих свойств указанной поверхности в интервале длин волн 400-800 нм, включающий облучение поверхности сапфирового материала пучком одно- и/или многозарядных ионов газа таким образом, чтобы создать ионно-имплантированный слой в сапфировом материале, при этом

ускоряющее напряжение составляет величину в диапазоне 5-1000 кВ;

доза имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа каждого ионного пучка на единицу площади поверхности составляет величину в диапазоне 10^{12}-10^{18} ионов/$см^2$; а

ионы одно- и/или многозарядных ионов газа выбраны из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S),

при этом дозу имплантируемых одно- и/или многозарядных ионов газа и ускоряющее напряжение выбирают так, чтобы получить модифицированный отражённый цвет обработанной поверхности сапфирового материала по сравнению с необработанной поверхностью сапфирового материала, причем доминирующая длина волны λ_{DT} отражённого цвета обработанной поверхности сапфирового материала сдвинута по меньшей мере на +50 нм или по меньшей мере на -50 нм от доминирующей длины волны λ_{DU} отражённого цвета необработанной поверхности сапфирового материала.

2. Способ обработки по п.1, в котором ионы одно- и/или многозарядных ионов газа выбирают из ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), азота (N) и кислорода (O), например из списка, состоящего из азота (N) и кислорода (O), например, ионы одно- и/или многозарядных ионов газа являются ионами кислорода (O).

3. Способ обработки по п.1 или 2, в котором ионы для облучения пучком одно- и/или многозарядных ионов газа получают с помощью источника электронного циклотронного резонанса (ЭЦР).

4. Способ обработки по любому из пп.1-3, в котором ионы газового пучка являются одно- и многозарядными и включают 10% многозарядных ионов или более 10% многозарядных ионов.

5. Способ обработки по любому из пп.1-4, в котором ускоряющее напряжение выбирают в диапазоне 10-100 кВ.

6. Способ обработки по любому из пп.1-5, в котором дозу имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности выбирают в диапазоне 10^{16}-10^{18} ионов/$см^2$, например выбирают в диапазоне $2 \cdot 10^{16}$-$2 \cdot 10^{17}$ ионов/$см^2$.

7. Способ обработки по любому из пп.1-6, в котором дозу имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности выбирают для получения атомной концентрации имплантированных ионов равной или больше 5% и равной или меньше 20%.

8. Способ обработки по любому из пп.1-7, в котором сапфировый материал перемещают относительно пучка одно- и/или многозарядных ионов газа со скоростью V_D между 0,1 и 1000 мм/с.

9. Способ обработки по п.8, в котором одну и ту же зону сапфирового материала перемещают под пучком одно- и/или многозарядных ионов газа посредством нескольких NP проходов со скоростью V_D.

10. Способ обработки по любому из пп.1-9, в котором обработка включает облучение поверхности сапфирового материала несколькими пучками одно- и/или многозарядных ионов газа так, чтобы создать ионно-имплантированный слой в сапфировом материале, при этом ускоряющее напряжение и/или элемент ионных пучков отличается в различных пучках ионов газа.

11. Способ обработки по любому из пп.1-10, который включает облучение первой и второй поверхностей сапфирового материала, причем каждой поверхности одним или несколькими пучком(ами) одно- и/или многозарядных ионов газа, так чтобы создать в сапфировом материале ионно-имплантированный слой на первой поверхности сапфирового материала и ионно-имплантированный слой на второй поверхности сапфирового материала, первая и вторая поверхности сапфирового материала, по существу, являются параллельными поверхностями, разделёнными прозрачной средой, при этом ускоряющее напряжение и/или элемент ионного пучка для обработки второй поверхности сапфирового материала отличаются от соответственно ускоряющего напряжения(ий) и/или элемента пучка(ов) ионов для обработки первой поверхности сапфирового материала.

12. Способ обработки по п.10 или 11, в котором ионы различных пучков ионов газа являются ионами одного и того же элемента, при этом ускоряющее напряжение ионных пучков отличается для разных пучков ионов газа.

13. Способ обработки по п.12, в котором ускоряющее напряжение ионных пучков отличается от величины, составляющей 5-50 кВ, например от величины в диапазоне 10-20 кВ.

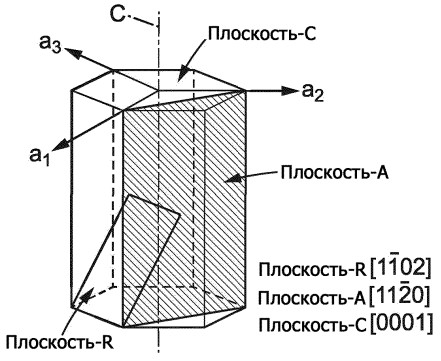
14. Способ обработки по любому из пп.1-13, в котором ускоряющее напряжение и дозу имплантированных ионов одно- и/или многозарядных ионов газа выбирают в соответствии с дополнительными правилами выбора, указанные дополнительные правила выбора включают в себя использование данных, полученных на стадии предварительного облучения пучком одно- и/или многозарядных ионов газа обрабатываемого сапфирового материала, причем указанная стадия заключается в выборе одного типа одно- и/или многозарядных ионов элементов из списка, состоящего из гелия (He), неона (Ne), аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), бора (B), углерода (C), азота (N), кислорода (O), фтора (F), кремния (Si), фосфора (P) и серы (S), выполнении нескольких экспериментов с сапфировыми материалами, аналогичными обрабатываемому материалу, с использованием указанных ионов для облучения и изменении дозы имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и ускоряющего напряжения до определения требующихся диапазонов дозы имплантированных одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и диапазонов ускоряющего напряжения, чтобы создать ионно-имплантированный слой, подходящий для получения модифицированного отражённого цвета поверхности сапфирового материала; и выбирают дозу одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и величину ускоряющего напряжения в пределах диапазонов, полученных на предыдущей стадии, и выполняют обработку обрабатываемого сапфирового материала указанными ионами при указанных значениях.

15. Способ обработки по п.14, в котором данные, полученные в результате указанных нескольких экспериментов, накапливают и обрабатывают так, чтобы разработать основные рекомендации по изменению цвета поверхности сапфира в соответствии с элементом пучка одно- и/или многозарядных ионов ускоряющим напряжением и дозой ионов на единицу площади поверхности.

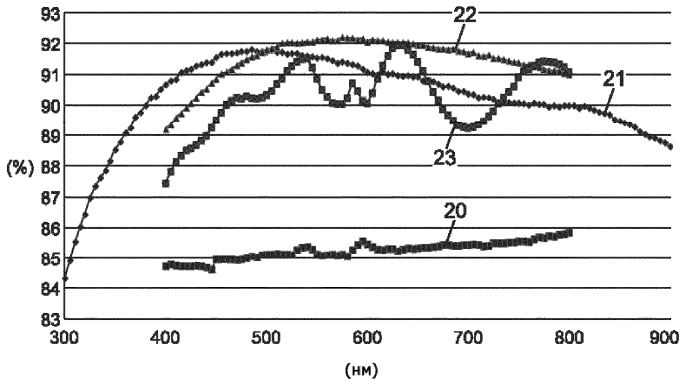
16. Способ обработки по п.15, в котором выбор элемента пучка одно- и/или многозарядных ионов, дозы одно- и/или многозарядных ионов газа на единицу площади поверхности и значения ускоряющего напряжения выполняют так, чтобы удовлетворять требованиям по целевому цвету для отражённого цвета поверхности сапфирового материала.

17. Способ обработки по любому из пп.1-16, в котором доминирующая длина волны λ_{DT} отражённого цвета обработанной поверхности сдвинута по меньшей мере на +100 нм или по меньшей мере на -100 нм от доминирующей длины волны λ_{DU} отражённого цвета необработанной поверхности сапфирового материала.

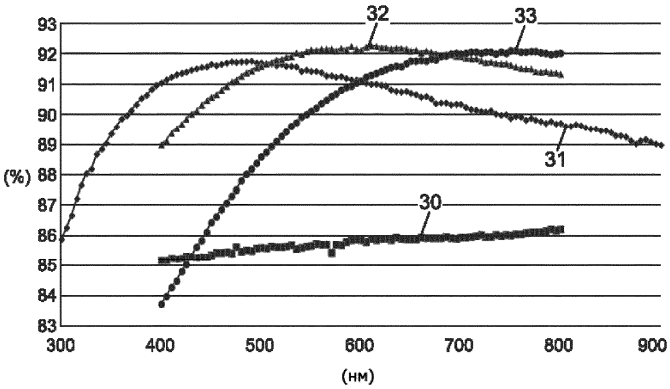
18. Способ обработки по любому из пп.1-17, в котором сапфировый материал является синтетическим сапфировым материалом, который образует элемент, выбранный из списка, состоящего из экрана, такого как, например, сенсорный экран, окна, часового стекла, детали осветительного устройства, такой как деталь светоизлучающего устройства (LED), оптического компонента, такого как, например, линза устройства.



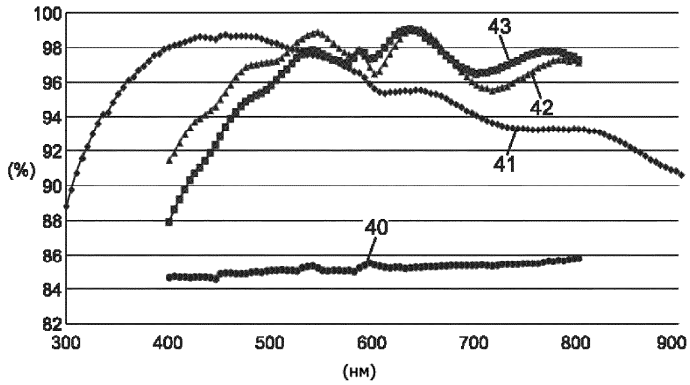
Фиг. 1



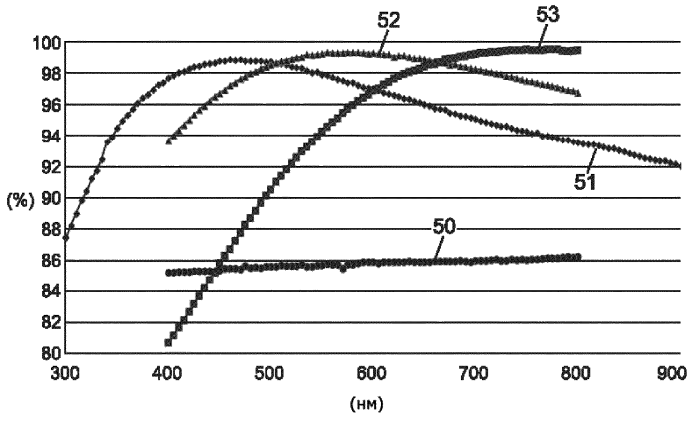
Фиг. 2



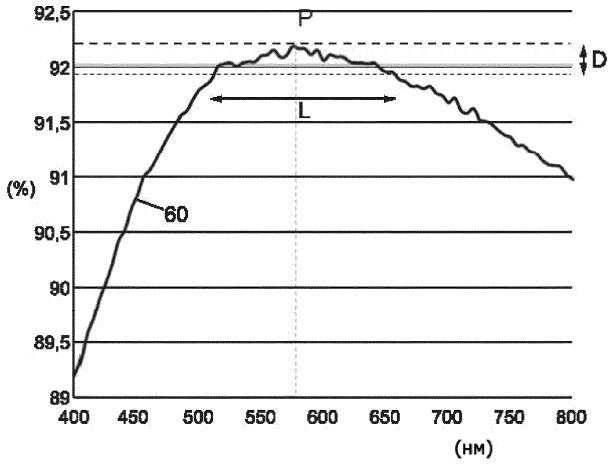
Фиг. 3



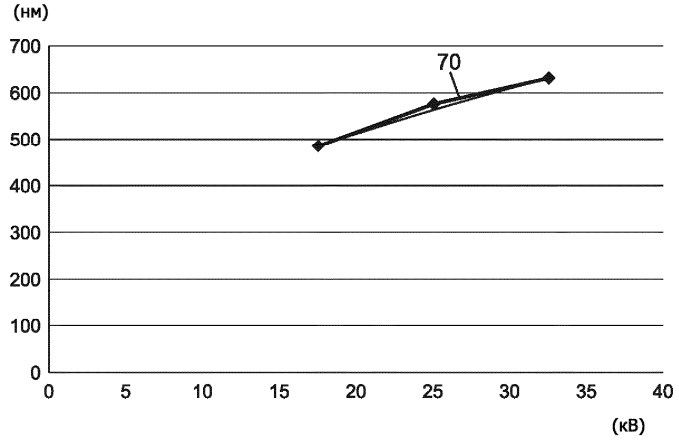
Фиг. 4



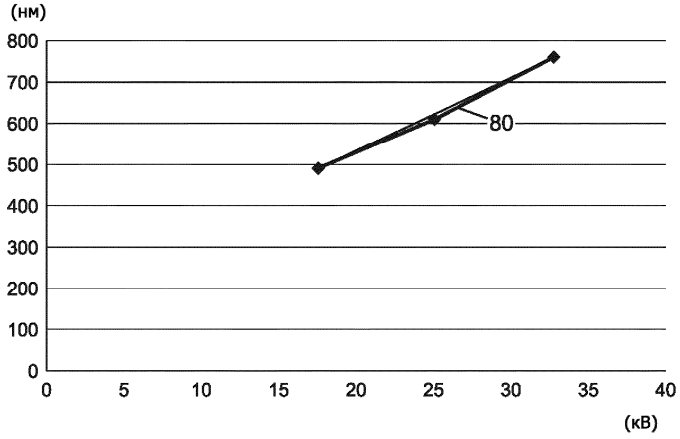
Фиг. 5



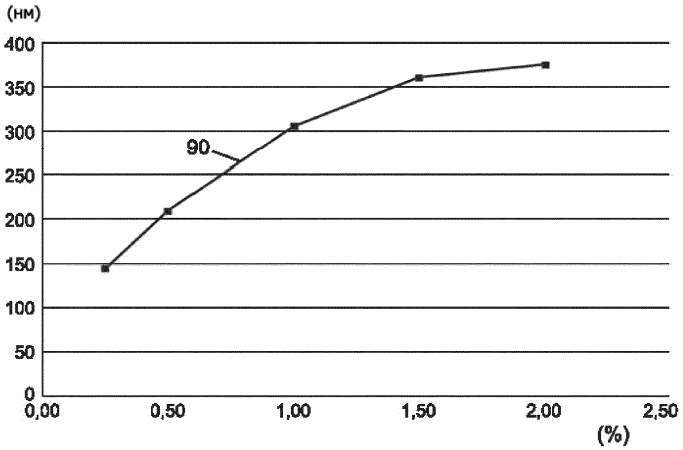
Фиг. 6



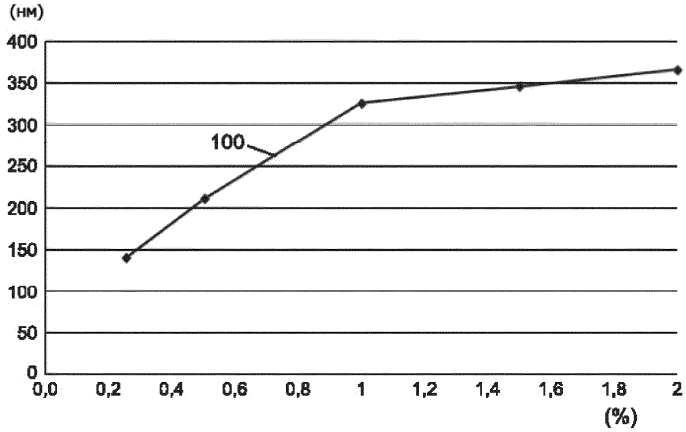
Фиг. 7



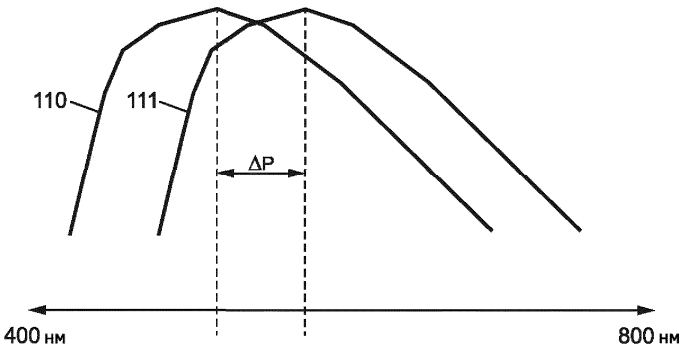
Фиг. 8



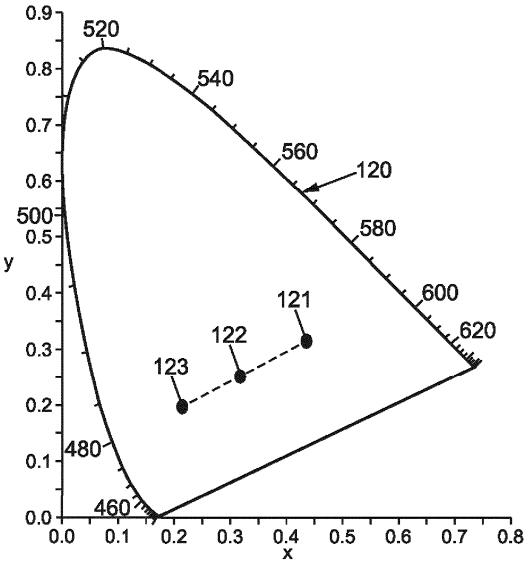
Фиг. 9



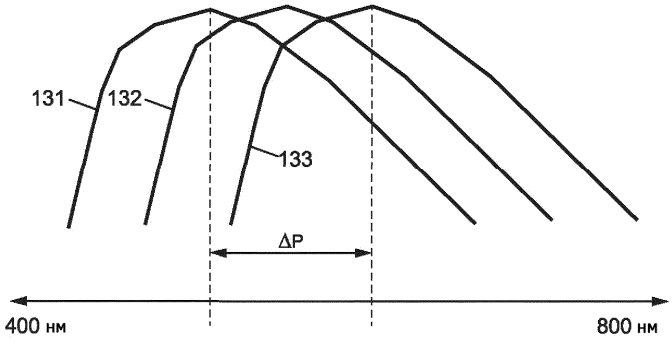
Фиг. 10



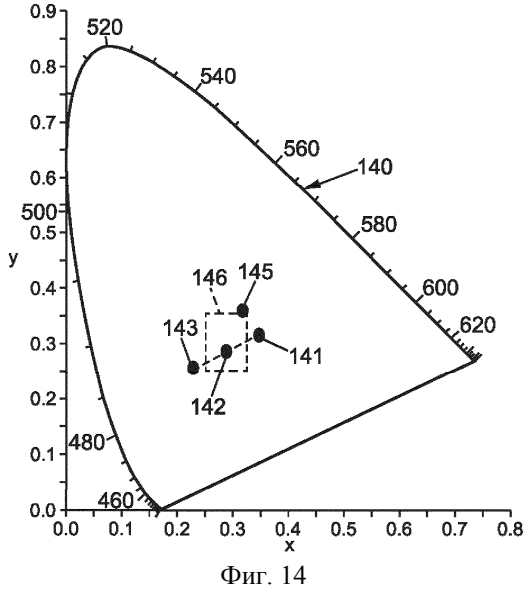
Фиг. 11



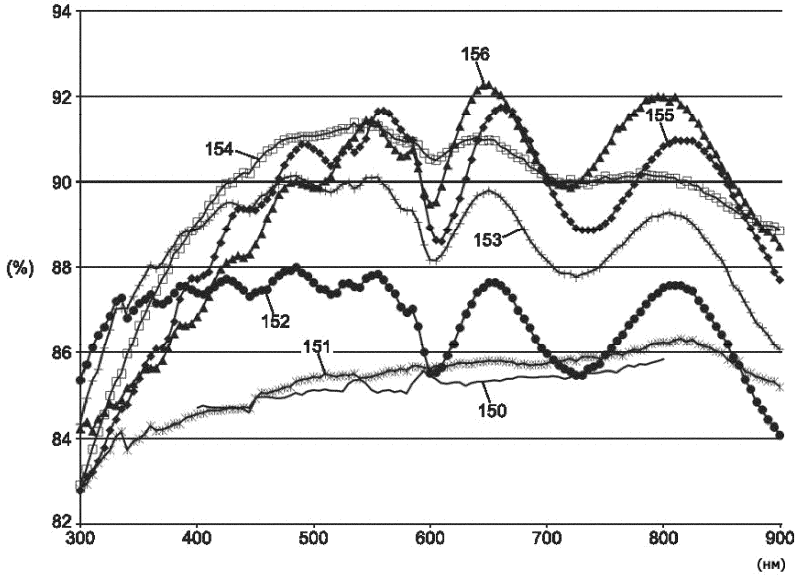
Фиг. 12



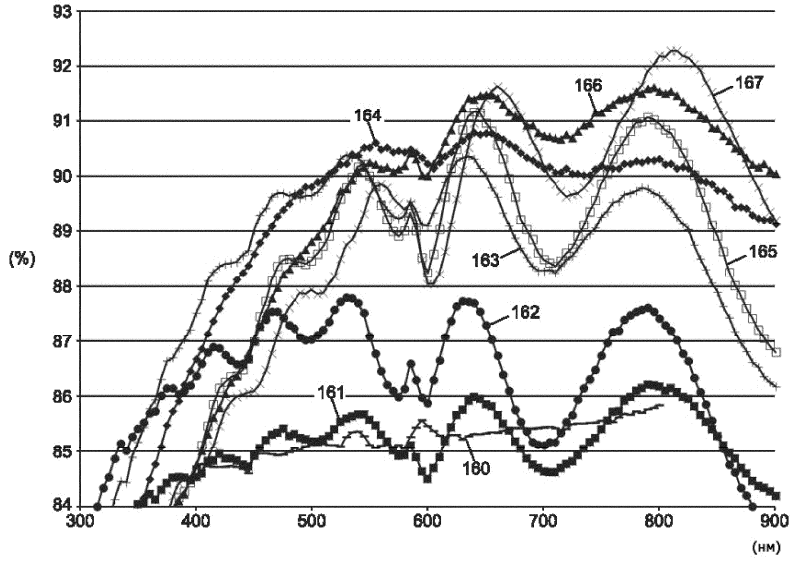
Фиг. 13



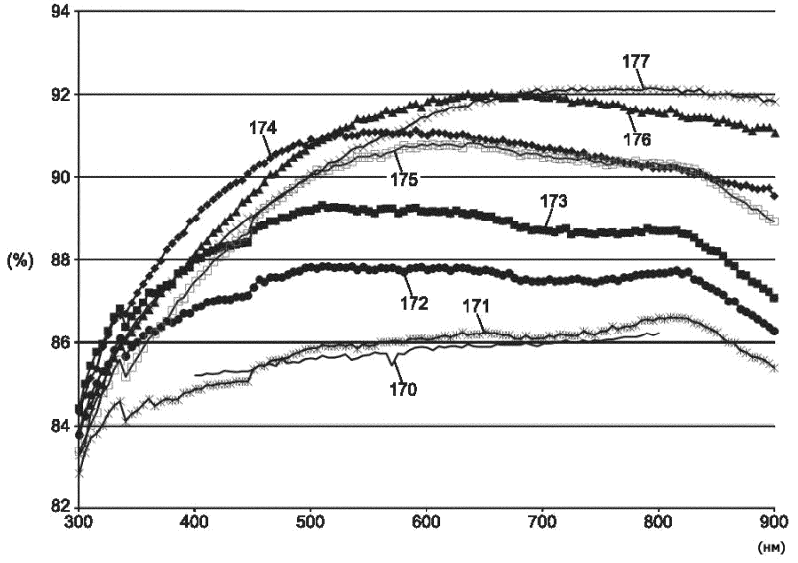
Фиг. 14



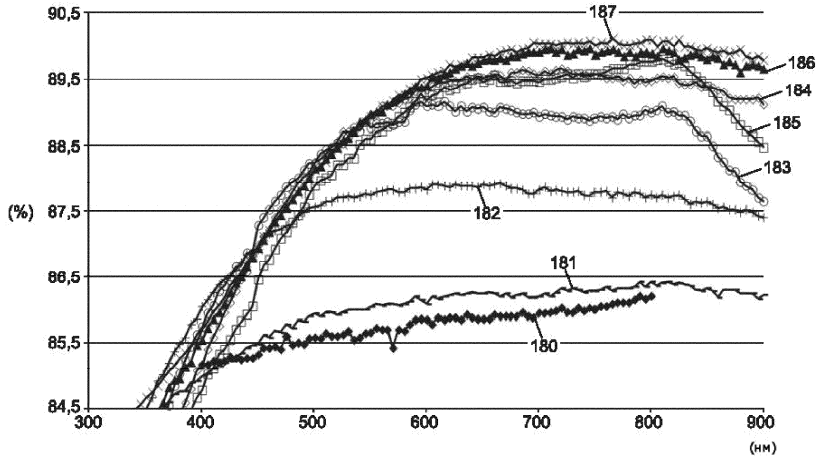
Фиг. 15



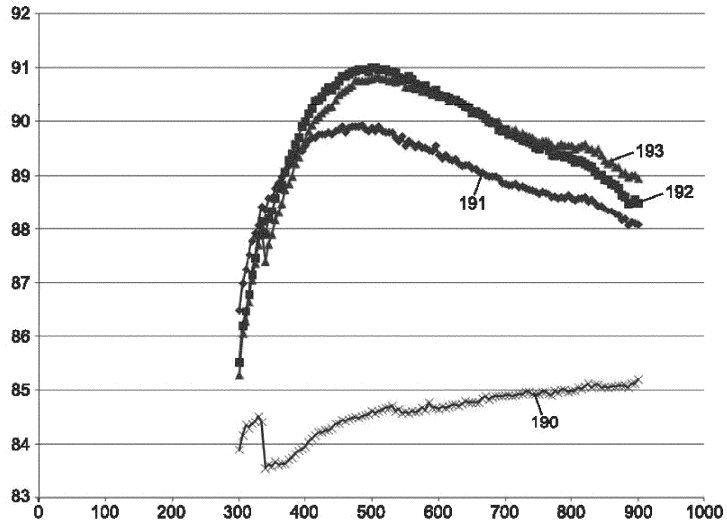
Фиг. 16



Фиг. 17


90,5
89,5
88,5
87,5
86,5
85,5
84,5
(%)
300
400
500
600
700
800
900
(нм)
187
186
184
185
183
182
181
180

Фиг. 18


92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
193
192
191
190

Фиг. 19