



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005113587/28, 04.05.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.05.2005

(45) Опубликовано: 20.08.2006 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Б.В.ШУЛЬГИН и др. Влияние ионных пучков на оптические свойства кристаллов (Li,Na)F-U, Cu. Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 1998. Вып.1, с.40-46. RU 2243573 C1, 27.12.2004. SU 587427 A, 16.01.1978. US 5028794 A, 02.07.1991. US 5796762 A, 18.08.1998.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, К-2, ул. Мира, 19,
УГТУ-УПИ, центр интеллектуальной
собственности, Т.В.Маркс

(72) Автор(ы):

Шульгин Борис Владимирович (RU),
Черепанов Александр Николаевич (RU),
Королева Татьяна Станиславна (KG),
Иванов Владимир Юрьевич (RU),
Нешов Федор Григорьевич (RU),
Буйлин Павел Иванович (RU),
Голиков Евгений Георгиевич (RU),
Джолдошов Базаркул Кошоевич (KG),
ПЕДРИНИ Кристиан (FR),
ЛЕБУ Кирреддин (FR)

(73) Патентообладатель(и):

ГОУ ВПО Уральский государственный
технический университет - УПИ (RU)

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР

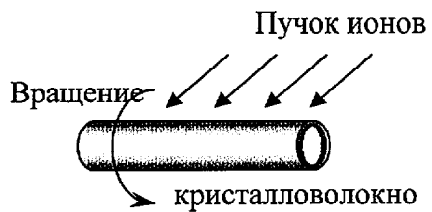
(57) Реферат:

Изобретение относится к области физической и интегральной оптики, связанной с разработкой гетероструктур, пригодных для создания оптоэлектронных блоков и систем многоцелевого назначения, в частности, таких как сцинтилляционные и термолюминесцентные детекторы ионизирующих излучений для индивидуальной и космической медицины, для систем радиационного мониторинга, систем неразрушающего контроля и томографических медицинских систем, совместимых с волоконными линиями связи и пригодных для использования в качестве терминальных датчиков для оптических волоконных линий связи. Суть изобретения заключается в том, что для изготовления гетероструктур путем ионного облучения заготовки в качестве заготовки используют кристалловолоконно

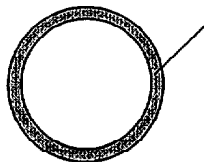
фторида лития или натрия, предварительно выращенное методом микровытягивания или лазерного разогрева, придают кристалловолокону вращение вокруг своей оси со скоростью 60-80 оборотов в минуту и облучают его направленным перпендикулярно оси вращения кристалловолоконным пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см². Технический результат изобретения: получение структуры с высокой стабильностью наведенных центров окраски - вплоть до нескольких лет, отличающейся повышенной сцинтилляционной активностью с длительностью сцинтилляций до 3-4 нс и длиной волны люминесценции 550-650 нм. 1 ил.

RU 2 282 214 C1

RU 2 282 214 C1



Поперечное сечение
кристалловолокна



Модифицированный
приповерхностный
слой

Гетероструктура

RU 2 2 8 2 2 1 4 C 1

RU 2 2 8 2 2 1 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005113587/28, 04.05.2005**

(24) Effective date for property rights: **04.05.2005**

(45) Date of publication: **20.08.2006 Bull. 23**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, K-2, ul. Mira, 19,
UGTU-UPI, tsentr intellektual'noj
sobstvennosti, T.V.Marks**

(72) Inventor(s):

**Shul'gin Boris Vladimirovich (RU),
Cherepanov Aleksandr Nikolaevich (RU),
Koroleva Tat'jana Stanislavna (KG),
Ivanov Vladimir Jur'evich (RU),
Neshov Fedor Grigor'evich (RU),
Bujlin Pavel Ivanovich (RU),
Golikov Evgenij Georgievich (RU),
Dzholdoshev Bazarkul Koshoevich (KG),
PEDRINI Kristian (FR),
LEBU Kirreddin (FR)**

(73) Proprietor(s):

**GOU VPO Ural'skij gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet - UPI (RU)**

(54) **METHOD OF MANUFACTURING HETERO-STRUCTURES**

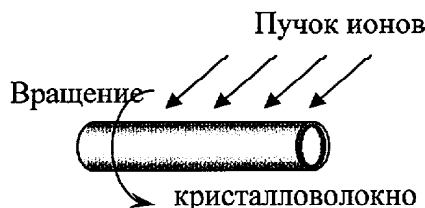
(57) Abstract:

FIELD: physical and integral optics.

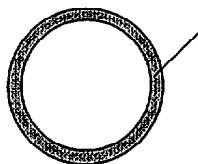
SUBSTANCE: method comprises ion irradiation of blank made of crystal fiber of lithium or sodium fluoride grown by means of micro-elongation or laser heating, setting the crystal fiber in rotation around its axis with a speed of 60-80 revolutions per minute, and irradiating it by ion beam of HE^+ with an energy of 3 ± 2 MeV and fluence within $2 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{16}$ ion/cm² or nitrogen ions N^{3+} with an energy of 16 ± 6 MeV and fluence within $5 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{15}$ ion/cm².

EFFECT: enhanced stability of structure.

8 ex



Поперечное сечение
кристалловолокна



Гетероструктура

RU 2 282 214 C1

RU 2 282 214 C1

Изобретение относится к разделам физической и интегральной оптики, связанной с разработкой гетероструктур, пригодных для создания оптоэлектронных блоков и систем многоцелевого назначения, в частности, таких как сцинтилляционные и термолюминесцентные детекторы ионизирующих излучений для индивидуальной и космической медицины, для систем радиационного мониторинга, систем неразрушающего контроля и томографических медицинских систем, совместимых с волоконными линиями связи и пригодных для использования в качестве терминальных радиационно-чувствительных датчиков для оптических волоконных линий связи.

Известен способ изготовления планарных гетероструктур из заготовок на базе кристаллов LiF [R.M.Montereali, A.Mancini, G.C.Righini, S.Pelli // Opt. Comm. 1998. V.153. P.223; V.Mussi, F.Somma, P.Moretti, J.Mugnier, B.Jacquier, R.M.Montereali, E.Nichellati // Appl. Phys. Lett. 2003. V.82. P.3886]. Гетероструктуры получают путем облучения заготовок электронами или путем имплантации (облучения) ионами He⁺. Однако известный способ, использующий неподвижные заготовки, позволяет изготовить только планарные или канальные гетероструктуры на основе LiF, пригодные для использования в качестве волноводов. Получение гетероструктур в виде кристалловолокон, получение трубчатых кристалловолоконных гетероструктур в рамках известного способа невозможно.

Известен способ изготовления планарных гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF [T.Kurobori, K.Kawamura, H.Herano and H.Hosono // J.Phys. Condens. Matter. 2003. V.15. L399; K.Kawamura, T.Ogawa, N.Sarukara, M.Hirano, H.Hosono // Appl. Phys. 2000. V.B71. P.119; K.Kawamura, M.Hirano, T.Kurobori, D.Takamizu, T.Kamiya and H.Hosono//Appl. Phys. Lett. 2004. V.84, P.311; T.Kurobori, Y.Hirose, K.Kawamura, M. Hirano, H.Hosono // Book of Abstracts of 15 Intern. Conf.on Defects in Insulating Materials, Riga. 2004. P.36]. Гетероструктуры по известному способу получают в заготовках из объемных кристаллов LiF путем создания дефектов: агрегатных F₂⁻ и F₃⁺-центров окраски в виде микрорешеток длиной ~10 мкм на глубине ~100 мкм. Микрорешетки представляют собой трехразмерные активные канальные волноводы. Известный способ изготовления гетероструктур заключается в облучении заготовок двумя фемтосекундными интерферирующими лазерными импульсами, которые точка за точкой производят канальные волноводы на небольшой глубине кристалла LiF. Последнее обеспечивает их нестираемость (несоскабливаемость). Однако известный способ применяется только для создания планарных гетероструктур на основе LiF. Гетероструктуры в виде кристалловолокон, трубчатые кристалловолоконные гетероструктуры на основе LiF и тем более на основе NaF таким способом не изготавливались.

Известен способ получения планарных гетероструктур из заготовок на основе оксидов Y₃Al₅O₁₂ (YAG), LiNbO₃ и фторидов LiF [P.D.Townsend, P.J.Chandler, L.Zhang // Optical effects of Ion Implantation. Cambridge University, Press, Cambridge, 1994; P.Moretti, P.Thevenard, K.Wirl, P.Hertel, H.Hesse, E.Krätzig and G.Godefroy // Ferroelectric 1992, V.128. P.13; L.Zhang, P.J.Chandler, P.D.Townsend, S.J.Field, D.C.Hanna, D.P.Shepherd, A.C.Tropper // J.Appl. Phys. 1991. V.69. P.3440; V.Mussi, F.Somma, P.Moretti, J.Mugnier, B.Jacquier, R.M.Montereali, E.Nichelatti // Appl. Phys. Lett. 2003 V.82, N22. P.3886-3888]. Гетероструктуры по известному способу получали путем имплантации ионов гелия He⁺ или водорода H⁺ в поверхностные слои неподвижных заготовок на базе кристаллов YAG или LiNbO₃ или LiF. Например, в работе [F.Somma, P.Moretti, J.Mugnier, B.Jacquier, R.M.Montereali, E.Nichelatti // Appl. Phys. Lett. 2003 V.82, N22. P.3886-3888] для получения гетероструктур использовались неподвижные заготовки в виде полированных кристаллов LiF размерами 5×5×1 мм, которые облучались при температуре 20°С ионами He⁺ с энергией 1,5 или 2,0 МэВ и флюенсами от 6·10¹³ до 2,5·10¹⁶ ион/см². Облучение приводило к образованию дефектного слоя с измененным коэффициентом преломления, зависящим от доз облучения. Однако известный способ, использующий неподвижную облучаемую заготовку, непригоден для

получения гетероструктур в виде кристалловолокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ получения гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF методом литографии с использованием электронных пучков [M.Montecchi, R.M.Montereali, E.Nichelatti // Opt. Mater. 2001. V.17. P.347]. Такие гетероструктуры предназначены для обеспечения генерации, ограничения (ослабления) и усиления света в активных одномодовых канальных волноводах и необходимы для получения миниатюрных широкополосных оптических усилителей и лазеров, совместимых с интегральными оптическими элементами. Однако известный способ непригоден для получения гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ приготовления гетероструктур в виде планарных сцинтилляционных экранов на основе заготовок из кристаллов LiF или NaF путем облучения этих кристаллов через металлическую сетку с размером ячеек 6-10 мкм пучком ионов He⁺ с энергией 3±2 МэВ при флюенсе пучка 10¹⁸-2·10¹⁹ м⁻² [Патент РФ 2243573 от 27.12.2004]. В результате облучения в приповерхностном слое незакрытых металлической сеткой от пучка ионов участках заготовки из кристаллов LiF или NaF создается повышенное содержание дефектов-агрегатных центров окраски, являющихся центрами свечения, играющих роль микросцинтилляционных ячеистых сенсоров, обеспечивающих визуализацию рентгеновского излучения с высоким пространственным разрешением в соответствии с шагом (от единиц до десятков микрон) металлической радиационно-стойкой сетки, через которую проводится облучение. Таким образом известный способ пригоден только для изготовления планарных гетероструктур и непригоден для получения гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ получения гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF [F.Bonfigli, B.Jacquier, R.M.Montereali, A.Moretti, V.Mussi, E.Nichelatti, F.Somma / Optical Materials. 2003. V.24. P.291-296]. Способ изготовления гетероструктур связан с наведением в заготовках из кристаллов LiF агрегатных F₂⁻ и F³⁺-центров окраски (с поглощением в области 450 нм) при облучении неподвижных заготовок ионами He⁺ с энергией 1,5-2,0 МэВ и флюенсом от 6·10¹³ до 2,5·10¹⁶ ион/см². Однако известный способ изготовления гетероструктур не пригоден для изготовления гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур, поскольку он не обеспечивает облучения волокон по всей их цилиндрической поверхности.

Известны способы изготовления кристалловолокон фторида натрия методом микровытягивания (Micro Pulling Down) и методом лазерного разогрева (Laser Heated Pedestal Growth method) [Выращивание волоконных монокристаллов фторида натрия и их свойства. Часть I / Lebbou K., Fourmigue J.-M., Pedrini Ch., Королева Т.С., Шульгин Б.В., Черепанов А.Н. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: Межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2003. Вып.15. С.114-121]. Однако известные методы позволяют изготавливать только однородные кристалловолокна, которые не являются гетероструктурами.

Из всех известных способов изготовления гетероструктур наиболее близким к заявляемому является способ получения гетероструктур из заготовок в виде большеразмерных кристаллов на основе фторида натрия путем облучения последних пучками ионов He⁺ с энергией 3±2 МэВ или ионами азота N³⁺ с энергией 16±6 МэВ и флюенсами в интервале 10¹³-10¹⁶ см⁻² [Б.В.Шульгин, Т.А.Белых, Ф.Г.Нешов и др. Влияние ионных пучков на оптические свойства кристаллов (Li,Na)F-U, Cu//Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 1998. Вып.1. С.40-46; М.К.Сатыбалдиева, Т.А.Белых, Б.В.Шульгин и др. Радиационно-стимулированная агрегация элементарных дефектов в кристаллах NaF-U, Me, вызванная облучением ионами гелия и электронами//Физика и химия обработки материалов. 2000. №5. С.5-8]. Получаемые таким способом гетероструктуры с F₂⁻ и F₃⁺-агрегатными центрами окраски оказываются

стабильными при комнатной температуре, по крайней мере, в течение двух лет. Однако этим способом кристалловолоконные структуры получить невозможно.

В предлагаемом способе для изготовления гетероструктур в качестве заготовки, подвергаемой облучению пучками ионов, используют волоконный кристалл фторида лития или натрия, выращенный предварительно из расплава методом микровытягивания (Micro Pulling Down) либо методом лазерного разогрева (Laser Heated Pedestal Growth) [Fiber crystal growth from the melt/Editor T. Fukuda. Berlin: Springer Verlag. 2003; Выращивание волоконных монокристаллов фторида натрия и их свойства. Часть I / Lebbou K., Fourmigue J.-M., Pedrini Ch., Королева Т.С., Шульгин Б.В., Черепанов А.Н. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: Межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2003. Вып.15. С.114-121]. В результате выращивания кристалловолокон (волоконных кристаллов) как по методу микровытягивания, так и по методу лазерного разогрева, могут быть получены достаточно длинные (до метра) гибкие нитевидные волокна с правильным круглым поперечным сечением диаметром от 0,01-0,03 до 1,5 мм (и более), обладающие при этом структурой монокристалла практически по всему объему. Получить аналогичные заготовки классическими методами выращивания (Чохральский, Киропулос, Стогбаргер и др.) не представляется возможным.

В предлагаемом способе изготовления гетероструктур выращенной кристалловолоконной заготовке из фторида лития или натрия придают вращение вокруг своей оси со скоростью 60-80 об/мин и помещают вращающуюся заготовку облучаться под пучок ионов, направленный перпендикулярно оси вращения. В качестве пучка ионов используют пучок ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или пучок ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см². Во время облучения заготовки при ее вращении вся ее боковая (цилиндрическая) поверхность подвергается воздействию ионного пучка (см. чертёж), который модифицирует последнюю: формирует в приповерхностном слое заготовки глубиной до нескольких микрон дефекты в виде агрегатных центров окраски F_2^- и F_3^+ -типа. Эти центры окраски изменяют коэффициент преломления приповерхностного слоя волокна. За счет того, что пучок ионов полностью поглощается в приповерхностном слое толщиной в несколько микрон, ионы не могут проникнуть во внутреннюю часть волокна - она остается нетронутой и ее коэффициент преломления не меняется. Таким образом формируется кристалловолоконная гетероструктура (слоистая структура).

Расчет распределения выделения энергии пучка ионов по глубине, проведенный на примере кристаллов фторида натрия, полученный с использованием метода Монте-Карло [М.К.Сатыбалдиева, Т.А.Белых, Б.В. Шульгин и др. Радиационно-стимулированная агрегация элементарных дефектов в кристаллах NaF-U,Me, вызванная облучением ионами гелия и электронами // Физика и химия обработки материалов. 2000. №5. С.5-8], показывает, что при ионном облучении (в отличие, например, от электронного) основное энергосодержание и соответственно основной процесс дефектообразования (образование F_2^- и F_3^+ -центров окраски) происходит не непосредственно на поверхности, а на некоторой глубине. То есть облучение кристаллов NaF ионами позволяет создавать нужный сорт центров окраски на определенной глубине. Тем самым получаемая гетероструктура становится более устойчивой к соскабливанию, к истиранию. Приповерхностный модифицированный слой с образовавшимися F_2^- и F_3^+ -центрами окраски образует трубчатую поверхностную часть волоконной гетероструктуры - своеобразный люминесцентный чехол с интенсивным ярко красным свечением. Изготовленная кристалловолоконная гетероструктура характеризуется высокой стабильностью наведенных центров окраски (вплоть до нескольких лет) и отличается повышенной сцинтилляционной активностью с длительностью сцинтилляций до 3-4 нс и длиной волны люминесценции 550-650 нм.

Пример 1.

Для изготовления гетероструктуры вначале выращивают волоконный кристалл

(кристалловолокно) NaF методом микровытягивания (скорость вытягивания 0,7 мм/мин, температура расплава 1040°C). Выращенное волокно NaF имеет диаметр ~0,1-0,5 мм и длину 25-70 мм. Кристалловолокно вставляют в цанговый держатель с приводом, обеспечивающим вращение волокна вокруг своей оси, и устанавливают в камере облучения циклотрона. Облучение ведут в вакууме при скорости вращения заготовки 60 оборотов в минуту слегка расфокусированным пучком ионов He⁺ с энергией 3±2 МэВ до флюенса 2·10¹⁶ ион/см². Ширина пучка выбирается соответствующей длине облучаемой части волокна: 15-50 мм. Изготовленная гетероструктура имеет вид волокна с активной частью, равной длине облученного участка. Спектр свечения волоконной гетероструктуры имеет максимум при 550-650 нм. Длительность сцинтилляций при возбуждении импульсными пучками электронов не превышает 4 нс. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~6 мкм. Такая гетероструктура имеет вид трубчатой кристалловолоконной гетероструктуры, она совместима с волоконными линиями оптической связи и может быть использована в качестве терминального радиационно-чувствительного сцинтилляционного датчика для регистрации электронного или гамма-излучения.

Пример 2.

Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут, как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов He⁺ с энергией 3±2 МэВ до флюенса 5·10¹⁴ ион/см² при скорости вращения 1 оборот в минуту. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 1, однако гетероструктура неоднородна из-за низкой скорости вращения, а интенсивность свечения понижена, что связано с малой концентрацией образовавшихся в результате облучения центров окраски. Такая гетероструктура не может быть рекомендована для практических применений из-за низкой чувствительности к регистрируемому электронному и гамма-излучению.

Пример 3.

Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут, как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов азота N³⁺ с энергией 16±6 МэВ до флюенса 8·10¹⁵ ион/см² при скорости вращения 80 оборотов в минуту. Спектр свечения полученной волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 1 с максимумом при 550-650 нм, соответствующим свечению F₂⁻ и F₃⁺-центров. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~4 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, совместима с волоконными линиями оптической связи и может быть использована в качестве терминального радиационно-чувствительного сцинтилляционного датчика для регистрации электронного или гамма-излучения.

Пример 4.

Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут, как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов азота N³⁺ с энергией 16±6 МэВ до флюенса 8·10¹⁶ ион/см² при скорости вращения 120 оборотов в минуту. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 3, однако интенсивность свечения оказывается пониженной, что связано с большой концентрацией образовавшихся в результате облучения центров окраски, на которых происходит частичное самопоглощение собственной люминесценции. Кроме того, при больших скоростях вращения для длинных волокон наблюдаются биения. В связи с этим волокно может испытывать чрезмерные центробежные ускорения, что может приводить к поломке волокна и нарушению процесса получения гетероструктуры. Однако в том случае, если такая гетероструктура и будет получена, она будет в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3.

Пример 5.

Для изготовления гетероструктуры вначале выращивают волоконный кристалл

(кристалловолокно) LiF методом микровытягивания (скорость вытягивания 0,6 мм/мин, температура расплава 980°C). Выращенное волокно LiF имеет диаметр ~0,05-0,2 мм и длину 25-50 мм. Волокно вставляют в цанговый держатель с приводом, обеспечивающим

5 Облучение ведут в вакууме пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ до флюенса $2 \cdot 10^{15}$ ион/см² при скорости вращения волокна 70 оборотов в минуту. Ширина пучка выбирается соответствующей длине облучаемой части волокна: 10-35 мм. Изготовленная гетероструктура имеет вид кристалловолокна с активной частью, равной

10 длине облученного участка. Спектр свечения активной части волоконной гетероструктуры имеет максимум при 550-600 нм. Длительность сцинтилляций при возбуждении импульсными пучками электронов не превышает 8 нс. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~7 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, совместима с

15 волоконными линиями оптической связи, как и в примерах 1 и 3.

Пример 6.

Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе LiF ведут, как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{14}$ ион/см² со скоростью 60 оборотов в минуту. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры

20 похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 5. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~5 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, имеет вид трубчатой волоконной гетероструктуры, она совместима с волоконными линиями оптической связи.

Пример 7.

25 Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе LiF ведут, как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов N^{3+} с энергией 27 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{14}$ ион/см² при скорости вращения 80 оборотов в минуту. В результате такого облучения в приповерхностном слое формируются сложный набор центров окраски и свечения. Спектр свечения имеет усиленную компоненту в синей области. Свечения, аналогичного свечению

30 из примера 6, не наблюдается. Такая гетероструктура в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3, 5, 6.

Пример 8.

Изготовление гетероструктуры на основе LiF ведут, как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов He^+ с энергией 0,5 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² при скорости

35 вращения 80 оборотов в минуту. В результате такого облучения в приповерхностном слое формируются агрегатные центры окраски и свечения в виде поверхностного чехла. Однако глубина расположения слоя оказывается меньше 1 мкм и слой подвержен быстрому истиранию. Такая гетероструктура в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3, 5, 6.

40

Формула изобретения

Способ изготовления гетероструктур, включающий облучение заготовки из фторида лития или натрия пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах

45 от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см², отличающийся тем, что в качестве заготовки используют кристалловолокно фторида лития или натрия, предварительно выращенное

50 методом микровытягивания или лазерного разогрева, после чего кристалловолокну придают вращение вокруг своей оси со скоростью 60-80 об/мин, и облучают вращающееся кристалловолокно пучком ионов, направленным перпендикулярно оси вращения кристалловолокна.