



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010109251/28, 15.03.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.03.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.03.2010

(45) Опубликовано: 20.11.2011 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: JP 101373806 A, 25.02.2009. JP 2008277865 A, 13.11.2008. DE 10253082 A1, 28.05.2003. JP 2002280673 A, 27.09.2002. US 2001010372 A1, 02.08.2001. JP 11298043 A, 29.10.1999. JP 10190146 A, 21.07.1998. JP 10173232 A, 26.06.1998. JP 9191128 A, 22.07.1997. RU 83655 U, 10.06.2009. RU 2277736 C1, 10.06.2006.

Адрес для переписки:

197046, Санкт-Петербург, ул.
Каменноостровский пр-кт, 1/3, офис 30,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры", пат.пов. Ю.В.Калустиной,
рег.№ 808

(72) Автор(ы):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),
Ребане Юрий Тоомасович (RU),
Мионов Алексей Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),
Ребане Юрий Тоомасович (RU),
Мионов Алексей Владимирович (RU)**

(54) СВЕТОИЗЛУЧАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С ГЕТЕРОФАЗНЫМИ ГРАНИЦАМИ

(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к области светоизлучающих устройств, в частности к высокоэффективным светоизлучающим диодам на основе нитридов третьей группы Периодической системы химических элементов. Светоизлучающее устройство согласно изобретению содержит подложку, буферный слой, сформированный на подложке, первый слой из полупроводника с проводимостью n-типа, сформированный на буферном слое, второй слой из полупроводника с проводимостью p-типа и активный слой, расположенный между первым и вторым слоями. Первый, второй и активный

слои образуют чередование слоев со структурой фазы цинковой обманки и слоев со структурой фазы вюрцита, с образованием гетерофазных границ между ними. Изобретение обеспечивает повышение эффективности (коэффициента полезного действия) светоизлучающего устройства за счет того, что в светоизлучающем устройстве имеются гетерофазные границы, которые позволяют избежать формирования потенциальных ям для дырок, повысить однородность распределения дырок в активном слое и обеспечить подавление безызлучательной рекомбинации Оже. 10 з.п. ф-лы, 5 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010109251/28, 15.03.2010**

(24) Effective date for property rights:
15.03.2010

Priority:

(22) Date of filing: **15.03.2010**

(45) Date of publication: **20.11.2011 Bull. 32**

Mail address:

**197046, Sankt-Peterburg, ul. Kamennostrovskij
pr-kt, 1/3, ofis 30, OOO "Juridicheskaja firma
Gorodisskij i Partnery", pat.pov.
Ju.V.Kapustinoj, reg.№ 808**

(72) Inventor(s):

**Shreter Jurij Georgievich (RU),
Rebane Jurij Toomasovich (RU),
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Shreter Jurij Georgievich (RU),
Rebane Jurij Toomasovich (RU),
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(54) LIGHT-EMITTING DEVICE WITH HETEROPHASE BOUNDARIES

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: disclosed light-emitting device has a substrate, a buffer layer formed on the substrate, a first layer from n-type semiconductor formed on the buffer layer, a second layer from p-type semiconductor and an active layer between the first and second layers. The first, second and active layers form an interlacing of the layers with zinc blende phase structure and layers with wurtzite phase

structure forming heterophase boundaries in between.

EFFECT: increase in efficiency of the light-emitting device owing to that there are heterophase boundaries in the light-emitting device which allow to avoid formation of potential wells for holes, increase the uniformity of hole distribution in the active layer and to ensure suppression of nonradiative Auger recombination.

11 cl, 5 dwg

RU 2 4 3 4 3 1 5 C 1

RU 2 4 3 4 3 1 5 C 1

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Изобретение относится к области светоизлучающих устройств, в частности к высокоэффективным светоизлучающим диодам на основе нитридов элементов третьей группы Периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева и их твердых растворов (далее - III-нитриды).

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Светоизлучающий диод (далее - СИД) является основным компонентом технологии твердотельного освещения. Напряжение, приложенное между двумя электронными терминалами СИД, индуцирует электрический ток через p-n переход и СИД излучает свет вследствие излучательной рекомбинации электронов и дырок.

Преимуществами СИД являются продолжительный период службы, высокая надежность, а также высокий коэффициент преобразования электрической энергии в световое излучение.

СИДы, излучающие инфракрасный, красный и зеленый свет, производятся и продаются очень давно. Технология производства СИД, выполненных на основе III-нитридов и излучающих ультрафиолетовый, синий, зеленый и белый свет, значительно улучшилась в последнее время (см., например, патенты US 7642108, US 7335920, US 7365369, US 7531841, US 6614060). Вследствие этого СИДы стали еще более популярны и применяются в различных областях, включая освещение.

На фиг.1 представлен известный из уровня техники III-нитридный СИД (Hiromitsu Sakai, Takashi Koide, Hiroyuki Suzuki, Machiko Yamaguchi, Shiro Yamasaki, Masayoshi Koike, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.34, Part 2, No 11A, pp. L1429, 01.11.1995), выбранный в качестве наиболее близкого из аналогов.

III-нитридный СИД 100 имеет слоистую структуру, состоящую из подложки 110, тонкого буферного слоя 120, слоя 130 n-типа проводимости с нанесенным контактом 170 n-типа проводимости (далее - n-контакт), слоя 150 p-типа проводимости с нанесенным контактом 160 p-типа проводимости (далее - p-контакт) и активного слоя 140. При этом принципиальной частью СИД является активный слой 140, в котором происходит генерация светового излучения в результате процесса рекомбинации электронов и дырок. В обычном III-нитридном СИД слой 130 n-типа, слой 150 p-типа и активный слой 140 имеют одну кристаллическую структуру - одну кристаллическую фазу III-нитридного полупроводника. Обычно эта кристаллическая структура соответствует структуре вюрцита. Однако активный слой III-нитридного СИД 100 может быть выполнен из III-нитридного полупроводника с химическим составом, отличным от химических составов слоя 130 n-типа проводимости и слоя 150 p-типа проводимости (Hiromitsu Sakai, Takashi Koide, Hiroyuki Suzuki, Machiko Yamaguchi, Shiro Yamasaki, Masayoshi Koike, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.34, Part 2, No 11A, pp.L1429, 01.11.1995). Поэтому такой III-нитридный СИД содержит две гетерограницы, между слоями одной кристаллической фазы с различным химическим составом, которые формируют двойную гетероструктуру, или квантовую яму. III-нитридная двойная гетероструктура, или квантовая яма, содержит две гетерограницы I-типа, которые формируют потенциальные ямы как для электронов, так и для дырок.

Недостаток структур с гетерограницами I-типа, сформированными из III-нитридных полупроводников одной кристаллической фазы с различным химическим составом, заключается в том, что они формируют потенциальные ямы как для электронов, так и для дырок и, следовательно, препятствуют однородному заполнению дырками активного слоя, поскольку их масса в III-нитридных

полупроводниках значительно больше массы электронов. В результате только одна квантовая яма, ближайшая к слою р-типа проводимости, заполняется электронами и дырками и излучает большую часть света в структурах с несколькими квантовыми ямами. Плотность носителей в квантовой яме, ближайшей к слою р-типа проводимости, становится высокой при большой плотности тока, и поэтому эффективность СИД падает из-за нелинейных рекомбинационных процессов, таких как рекомбинация Оже.

Из вышеизложенного ясно, что эффективность генерации света обычным светоизлучающим полупроводниковым устройством (СИД) на основе одной кристаллической фазы III-нитридов ограничена при больших плотностях тока из-за неоднородного распределения дырок в активном слое и нелинейных рекомбинационных процессов.

Таким образом, задачей настоящего изобретения является повышение эффективности светового излучения светоизлучающим устройством.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Для решения вышеуказанной задачи в настоящем изобретении предложено светоизлучающее полупроводниковое устройство с новой структурой. Предложенное светоизлучающее полупроводниковое устройство имеет гетерофазную структуру, которая содержит гетерофазные границы между фазой со структурой цинковой обманки (далее - фаза цинковой обманки) и фазой со структурой вюрцита (далее - фаза вюрцита), являющиеся гетерограницами II-типа, в отличие от обычных гетерограниц I-типа без изменения фазы (Rebane Y.T., Shreter Y.G., Albrecht M. *Physica Status Solidi A*. 1997. Volume 164, page 141; Corfdir P., Lefebvre P., Levrat J., Dussaigne A., Ganière J.-D., Martin D., Ristić J., Zhu T., Grandjean N., Deveaud-Plédran B. *Journal of Applied. Physics*, 2009. Volume 105, page 043192).

Понятия гетерограниц или гетеропереходов хорошо известны из литературы.

Гетерограницы или гетеропереходы - это границы или переходы между полупроводниками с различными химическими составами, но имеющие одинаковую кристаллическую структуру, например граница между вюрцитной фазой GaN и вюрцитной фазой $Al_xGa_{1-x}N$.

В данной заявке употребляется понятие гетерофазной границы в следующем смысле.

Гетерофазные границы - это границы между полупроводниками с различной кристаллической структурой, например граница между вюрцитной фазой GaN и фазой цинковой обманки GaN.

Полупроводники, составляющие гетерофазную границу, могут быть как одинакового химического состава, например граница между вюрцитной фазой GaN и фазой цинковой обманки GaN, так и различаться по химическому составу, например граница между вюрцитной фазой $Al_xGa_{1-x}N$ и фазой цинковой обманки GaN.

Поскольку использование гетерограниц II-типа позволяет избежать образования потенциальных ям для дырок, распределение дырок в активном слое становится более однородным, и эффективность светоизлучающего устройства при больших плотностях тока увеличивается. Кроме этого, настоящее изобретение предлагает СИД с несколькими квантовыми ямами для электронов, сформированными гетерофазными границами между фазой цинковой обманки и фазой вюрцита. В таких квантовых ямах, имеющих структуру фазы цинковой обманки, безызлучательная рекомбинация Оже значительно подавлена (Kris T. Delaney, Patrick Rinke, and Chris G. Van de Walle, *Applied Physics Letters*, 2009, Volume 94, page 191109), и поэтому предлагаемое светоизлучающее устройство при больших плотностях тока превосходит по эффективности известные

светоизлучающие устройства с несколькими квантовыми ямами, имеющими структуру фазы вюрцита.

В настоящем изобретении предложено светоизлучающее устройство с гетерофазной структурой, которая содержит гетерофазные границы между фазой цинковой обманки и фазой вюрцита. Настоящее изобретение отличается от существующих аналогов наличием гетерофазных границ.

Предложенное светоизлучающее устройство имеет в своем составе подложку; буферный слой, сформированный на подложке; первый слой из полупроводника с проводимостью n-типа, сформированный на буферном слое; второй слой из полупроводника с проводимостью p-типа; активный слой, расположенный между первым и вторым слоями. Первый, второй и активный слои образуют чередование слоев со структурой фазы цинковой обманки и слоев со структурой фазы вюрцита, с образованием гетерофазных границ между ними.

Активный слой может быть выполнен из полупроводника со структурой фазы цинковой обманки, а первый и второй слои могут быть выполнены из полупроводника со структурой фазы вюрцита.

Подложка может быть выполнена из оксида алюминия, карбида кремния или нитрида галлия.

Буферный слой может быть выполнен из нитрида галлия или из нитрида алюминия.

Первый слой может быть выполнен из легированного кремнием нитрида галлия.

Второй слой может быть выполнен из легированного магнием нитрида галлия.

Предпочтительно активный слой выполнен из нитрида галлия (GaN) или твердого раствора нитрида бор-алюминий-галлий-индия ($B_xAl_yGa_zJn_{1-z}N$).

В одном из вариантов осуществления активный слой может быть выполнен составным, состоящим из слоев из полупроводника со структурой фазы цинковой обманки и барьеров между ними со структурой фазы вюрцита, с образованием гетерофазных границ.

Техническим результатом настоящего изобретения является повышение эффективности (коэффициента полезного действия) светоизлучающего устройства за счет того, что в светоизлучающем устройстве имеются гетерофазные границы, которые позволяют избежать формирования потенциальных ям для дырок, повысить однородность распределения дырок в активном слое и обеспечить подавление безызлучательной рекомбинации Оже. Кроме этого, наличие гетерофазных границ позволяет предотвратить распространение ростовых дислокаций, усиливающих безызлучательную рекомбинацию и токи утечки, и благодаря этому получить более надежный и более эффективный светоизлучающий полупроводниковый прибор.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее изобретение иллюстрируется чертежами, на которых представлены различные варианты его реализации.

На Фиг.1 представлена схема известного из уровня техники светодиода с двойной гетероструктурой. Вюрцитная фаза полупроводника помечена треугольной сеткой.

На Фиг.2 представлена схема светодиода с двойной гетерофазной структурой на изолирующей подложке. Вюрцитная фаза полупроводника помечена треугольной сеткой, а фаза цинковой обманки помечена квадратной сеткой.

На Фиг.3 представлена схема светодиода с несколькими гетерофазными квантовыми ямами, а именно с тремя гетерофазными квантовыми ямами, на изолирующей подложке. Вюрцитная фаза полупроводника помечена треугольной сеткой, а фаза цинковой обманки помечена квадратной сеткой.

На Фиг.4 представлена схема светодиода двойной гетерофазной структурой на проводящей подложке. Вюрцитная фаза полупроводника помечена треугольной сеткой, а фаза цинковой обманки помечена квадратной сеткой.

На Фиг.5 представлена схема светодиода с несколькими гетерофазными квантовыми ямами, а именно с тремя гетерофазными квантовыми ямами, на проводящей подложке. Вюрцитная фаза полупроводника помечена треугольной сеткой, а фаза цинковой обманки помечена квадратной сеткой.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение будет прояснено ниже на нескольких примерах вариантов его осуществления. Следует отметить, что последующее описание этих вариантов осуществления является лишь иллюстративным и не является исчерпывающим.

На Фиг.2 показана схема СИД 200 с гетерофазной структурой, сформированной на изолирующей подложке, например, выполненной из оксида алюминия, карбида кремния или нитрида галлия. СИД 200 состоит из изолирующей подложки 110, буферного слоя 120, например, из нитрида галлия или нитрида алюминия, первого слоя 130 полупроводника n-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным p-контактом 170, второго слоя 150 полупроводника p-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным p-контактом 160 и расположенного между первым и вторым слоями активного слоя 240 из полупроводника с фазой цинковой обманки. Основой СИДа 200 с гетерофазной структурой является наличие двух гетерофазных границ.

Первая гетерофазная граница сформирована между первым слоем 130 полупроводника n-типа проводимости с вюрцитной фазой и активным слоем 240 из полупроводника с фазой цинковой обманки. Вторая гетерофазная граница сформирована между активным слоем 240 из полупроводника с фазой цинковой обманки и вторым слоем 150 полупроводника p-типа проводимости с вюрцитной фазой.

Использование гетерофазной структуры позволяет устранить потенциальные ямы для дырок, в результате распределение дырок в активном слое становится более однородным, и эффективность светоизлучающего устройства возрастает. Когда толщина активного слоя 240 находится в диапазоне 10-100 нм, потенциальная яма для электронов не обеспечивает квантового конфайнмента, и СИД 200 работает как светодиод с двойной гетерофазной структурой. Когда толщина активного слоя 240 находится в диапазоне 1-10 нм, потенциальная яма для электронов обеспечивает квантовый конфайнмент, и СИД 200 работает как светодиод с одиночной гетерофазной квантовой ямой. Светодиод с гетерофазной структурой содержит активный слой из III-нитридного полупроводника с фазой цинковой обманки, в котором безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена, и, следовательно, светодиод с гетерофазной структурой значительно превосходит по эффективности обычные светодиоды, выполненные полностью из III-нитридного полупроводника с кристаллической структурой фазы вюрцита.

На Фиг.3 показана общая схема СИД 300 с несколькими гетерофазными квантовыми ямами на изолирующей подложке. СИД 300 состоит из изолирующей подложки 110, буферного слоя 120, первого слоя 130 полупроводника n-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным p-контактом 170, второго слоя 150 полупроводника p-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным p-контактом 160. Между первым и вторым слоями расположен активный слой, выполненный составным. Он состоит из слоев 340, 342, 344 полупроводника со структурой фазы цинковой обманки и барьеров 341, 343 между ними со структурой

фазы вюрцита. Таким образом, каждая из образованных гетерофазных квантовых ям сформирована двумя гетерофазными границами между слоями 340, 342, 344 полупроводника с фазой цинковой обманки и слоями 341, 343 полупроводника с вюрцитной фазой. Использование нескольких гетерофазных квантовых ям позволяет
5 устранить потенциальные ямы для дырок, в результате чего распределение дырок в активном слое становится более однородным и повышается эффективность (коэффициент полезного действия) светоизлучающего устройства. Толщина активного слоя из полупроводника с фазой цинковой обманки в СИД с несколькими
10 гетерофазными квантовыми ямами находится в диапазоне 1-10 нм, что обеспечивает квантовый конфайнмент для электронов. Более того, СИД 300 с несколькими гетерофазными квантовыми ямами имеет активный слой из III-нитридного полупроводника с фазой цинковой обманки, в котором безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена, и, следовательно, такой СИД значительно
15 превосходит по эффективности обычные светодиоды, выполненные полностью из III-нитридного полупроводника с кристаллической структурой фазы вюрцита.

На Фиг.4 показана общая схема СИД 400 с гетерофазной структурой на проводящей подложке. СИД 400 состоит из проводящей подложки 410 с нанесенным p-контактом 470, буферного слоя 420, первого слоя 430 полупроводника n-типа проводимости с вюрцитной фазой, второго слоя 450 полупроводника p-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным p-контактом 460 и расположенного между первым и вторым слоями активного слоя 440 из полупроводника с фазой цинковой обманки. Гетерофазная граница между фазой цинковой обманки и фазой
25 вюрцита в III-нитридах является гетерограницей II-типа. Основой частью гетерофазной структуры СИД 400 являются две гетерофазные границы.

Первая гетерофазная граница сформирована между первым слоем 130 полупроводника n-типа с вюрцитной фазой и активным слоем 240 из полупроводника
30 с фазой цинковой обманки. Вторая гетерофазная граница сформирована между активным слоем 240 из полупроводника с фазой цинковой обманки и вторым слоем 150 полупроводника p-типа с вюрцитной фазой. Использование гетерофазной структуры в светоизлучающем устройстве позволяет устранить потенциальные ямы для дырок, в результате распределение дырок в активном слое становится более
35 однородным, и эффективность светоизлучающего устройства при больших плотностях тока возрастает. Когда толщина активного слоя 240 из полупроводника с фазой цинковой обманки находится в диапазоне 10-100 нм, потенциальная яма для электронов не обеспечивает квантового конфайнмента, и устройство работает как светодиод с двойной гетерофазной структурой. Когда толщина активного слоя 240 из
40 полупроводника с фазой цинковой обманки находится в диапазоне 1-10 нм, потенциальная яма для электронов обеспечивает квантовый конфайнмент, и устройство работает как светодиод с одиночной гетерофазной квантовой ямой. Светодиод с гетерофазной структурой имеет активный слой из III-нитридного полупроводника с фазой цинковой обманки, в которой безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена. Следовательно, как светодиод с двойной гетерофазной структурой, так и светодиод с одиночной гетерофазной квантовой ямой
45 превосходят по эффективности обычные светодиоды, выполненные полностью из III-нитридного полупроводника с кристаллической структурой фазы вюрцита.

На Фиг.5 показана общая схема СИД 500 на проводящей подложке. СИД 500 состоит из проводящей подложки 110 с нанесенным n-контактом 170, буферного
50 слоя 120, первого слоя 130 полупроводника n-типа проводимости с вюрцитной фазой,

второго слоя 150 полупроводника р-типа проводимости с вюрцитной фазой с нанесенным р-контактом 160 и активного слоя, расположенного между первым и вторым слоями и выполненного составным. Он состоит из слоев 340, 342, 344 полупроводника со структурой фазы цинковой обманки и барьеров 341, 343 между ними со структурой фазы вюрцита. Каждая гетерофазная квантовая яма сформирована двумя гетерофазными границами между слоями 340, 342, 344 из полупроводника с фазой цинковой обманки и слоями 341, 343 из полупроводника с вюрцитной фазой. Использование гетерофазных структур с несколькими квантовыми ямами позволяет устранить потенциальные ямы для дырок, в результате распределение дырок в активном слое становится более однородным, и возрастает эффективность светового излучения светоизлучающего устройства. Толщина активного слоя из полупроводника с фазой цинковой обманки в СИД с несколькими гетерофазными квантовыми ямами находится в диапазоне 1-10 нм, что обеспечивает квантовый конфайнмент для электронов. Более того, в гетерофазных квантовых ямах из III-нитридного полупроводника с фазой цинковой обманки безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена, по сравнению с фазой вюрцита, и, следовательно, СИД 500 с несколькими гетерофазными квантовыми ямами превосходит по эффективности известные светодиоды с несколькими квантовыми ямами, выполненными из III-нитридного полупроводника с фазой вюрцита.

Вышеописанные светоизлучающие устройства с гетерофазными границами обеспечивают повышенную эффективность светового излучения из-за более однородного распределения дырок и подавления рекомбинации Оже в активных потенциальных ямах. Кроме этого, гетерофазные границы препятствуют распространению ростовых дислокаций, способствующих безызлучательной рекомбинации и токам утечки, поэтому надежность и эффективность предложенного светоизлучающего устройства с гетерофазными границами дополнительно повышаются.

Работа устройства описана на примере Фиг.2. Устройство 200 на Фиг.2 работает следующим образом. При подаче напряжения на контакты 170, 160 возникает ток через гетерофазную структуру, образованную слоями 130, 240, 150. При этом ток переносится электронами в слое 130 и дырками в слое 150, имеющими кристаллическую структуру фазы вюрцита, а в активном слое 240, имеющем кристаллическую структуру фазы цинковой обманки, происходит рекомбинация электронов и дырок. В результате рекомбинации часть электрической энергии превращается в свет и излучается устройством 200. Гетерофазные границы между активным слоем 240 и слоями 130 и 150 являются гетерограницами II типа, поэтому подбор состава твердого раствора III-нитридных полупроводников слоев 130, 240 и 150 позволяет обеспечить в активном слое 240 глубокую потенциальную яму для электронов и одновременно мелкую для дырок. Дырки в III-нитридных полупроводниках обладают малой подвижностью, и малая глубина потенциальной ямы для них облегчает их движение в активном слое и улучшает однородность их распределения по активному слою. Эффективность преобразования (коэффициент полезного действия) электрической энергии в свет определяется отношением коэффициентов излучательной и безызлучательной рекомбинации. Активный слой устройства 240 выполнен из III-нитридного полупроводника, имеющего кристаллическую структуру фазы цинковой обманки, в котором безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена по сравнению с фазой вюрцита. Поэтому в результате рекомбинации электронов и дырок в слое 240 большая часть электрической

энергии переходит в свет, а меньшая в тепловую энергию.

Устройство 300 на Фиг.3 работает аналогично устройству 200 на Фиг.2, но имеет в активной области три слоя 340, 342 и 344 с кристаллической структурой фазы цинковой обманки, образующие три гетерофазные квантовые ямы. При подаче напряжения на контакты 170, 160 возникает ток через гетерофазную структуру, образованную слоями 130, 340, 341, 342, 343, 344 и 150. При этом ток переносится электронами в слое 130 и дырками в слое 150, имеющими кристаллическую структуру фазы вюрцита. Рекомбинация электронов и дырок происходит в трех гетерофазных квантовых ямах, образованных слоями 340, 342 и 344 с кристаллической структурой фазы цинковой обманки. В результате рекомбинации часть электрической энергии превращается в свет и излучается устройством 300.

Гетерофазные границы между слоями 340, 342, 344 полупроводника с фазой цинковой обманки и слоями 341, 343 полупроводника с вюрцитной фазой, формирующие три гетерофазные квантовые ямы, являются гетерограницами II типа. Подбор состава твердого раствора III-нитридных полупроводников слоев 340, 341, 342, 343 и 344 позволяет создать глубокие потенциальные ямы для электронов и одновременно мелкие для дырок. Дырки в III-нитридных полупроводниках обладают малой подвижностью, и малая глубина потенциальных ям для них облегчает их движение в активном слое и улучшает однородность их распределения по трем гетерофазным квантовым ямам, образованным слоями 340, 342 и 344. Эффективность преобразования (коэффициент полезного действия) электрической энергии в свет определяется отношением коэффициентов излучательной и безызлучательной рекомбинации. Гетерофазные квантовые ямы, образованные слоями 340, 342 и 344, в которых происходит рекомбинация электронов и дырок, выполнены из III-нитридного полупроводника, имеющего кристаллическую структуру фазы цинковой обманки, в котором безызлучательная рекомбинация Оже существенно подавлена, по сравнению с фазой вюрцита. Поэтому в результате рекомбинации электронов и дырок в квантовых ямах, образованных слоями 340, 342 и 344, большая часть электрической энергии переходит в свет, а меньшая в тепловую энергию.

Устройства на Фиг.4 и 5 работают аналогично вышеописанным устройствам на Фиг.2 и 3 соответственно, но выполнены на проводящих подложках и поэтому имеют n-контакты 170, нанесенные на проводящие подложки 410.

Таким образом, за счет того, что в светоизлучающем устройстве имеются гетерофазные границы, которые позволяют избежать формирования потенциальных ям для дырок, повысить однородность распределения дырок в активном слое и обеспечить подавление безызлучательной рекомбинации Оже, повышается эффективность (коэффициент полезного действия) светоизлучающего устройства.

Несмотря на то что настоящее изобретение было описано и проиллюстрировано примерами вариантов осуществления изобретения, необходимо отметить, что настоящее изобретение ни в коем случае не ограничено приведенными примерами.

Формула изобретения

1. Светоизлучающее устройство, содержащее:

- подложку;
- буферный слой, сформированный на подложке;
- первый слой из полупроводника с проводимостью n-типа, сформированный на буферном слое;
- второй слой из полупроводника с проводимостью p-типа;

- активный слой, расположенный между первым и вторым слоями, отличающееся тем, что первый, второй и активный слои образуют чередование слоев со структурой фазы цинковой обманки и слоев со структурой фазы вюрцита с образованием гетерофазных границ между ними.

5 2. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что активный слой выполнен из полупроводника со структурой фазы цинковой обманки, первый и второй слои выполнены из полупроводника со структурой фазы вюрцита.

10 3. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что подложка выполнена из оксида алюминия.

4. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что подложка выполнена из карбида кремния.

5. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что подложка выполнена из нитрида галлия.

15 6. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что буферный слой выполнен из нитрида галлия.

7. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что буферный слой выполнен из нитрида алюминия.

20 8. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что первый контактный слой выполнен из легированного кремнием нитрида галлия.

9. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что второй контактный слой выполнен из легированного магнием нитрида галлия.

25 10. Светоизлучающее устройство по п.1, отличающееся тем, что активный слой выполнен из нитрида галлия (GaN) или твердого раствора нитрида бор-алюминий-галлий-индия ($B_xAl_yGa_zIn_{1-z}N$).

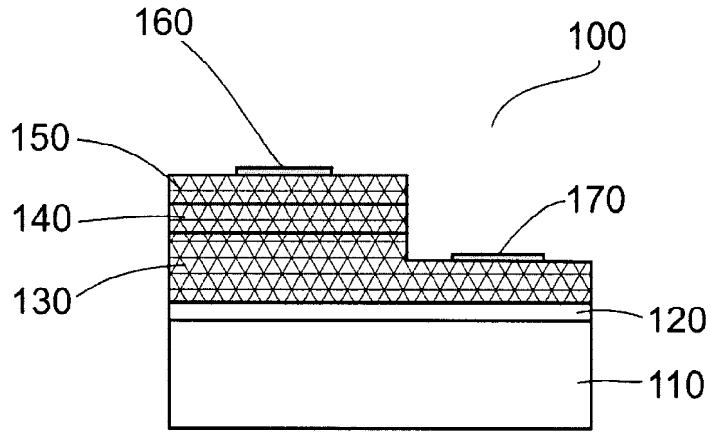
30 11. Светоизлучающее устройство по п.2, отличающееся тем, что активный слой выполнен составным, состоящим из слоев из полупроводника со структурой фазы цинковой обманки и барьеров между ними со структурой фазы вюрцита с образованием гетерофазных границ.

35

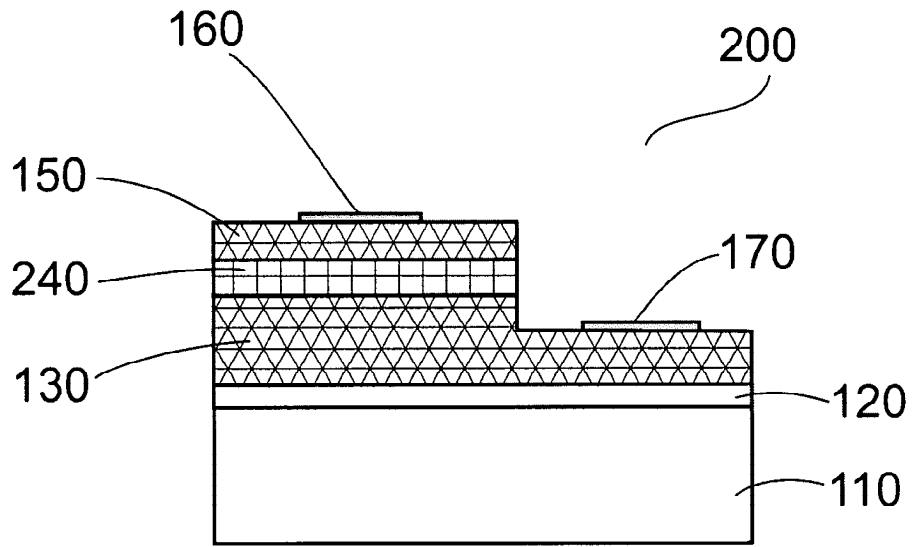
40

45

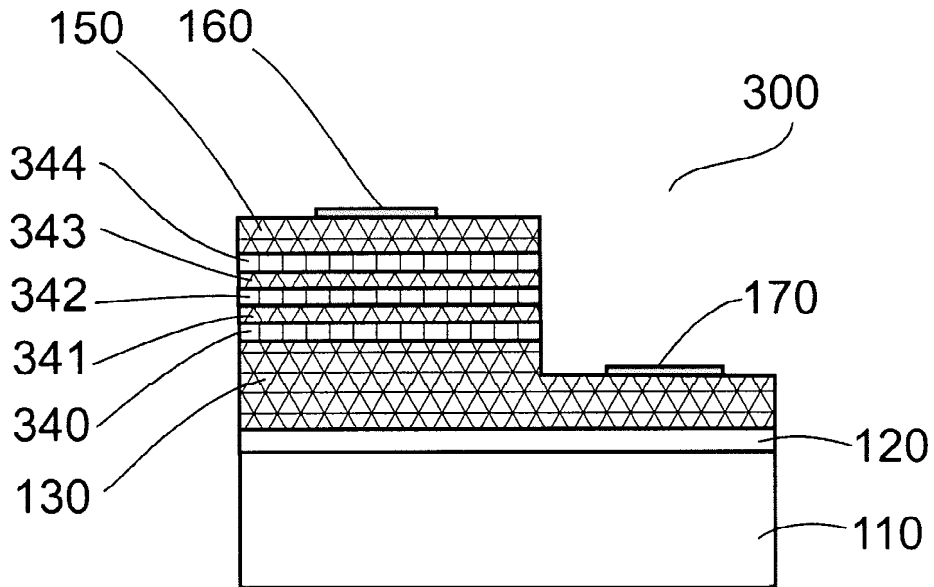
50



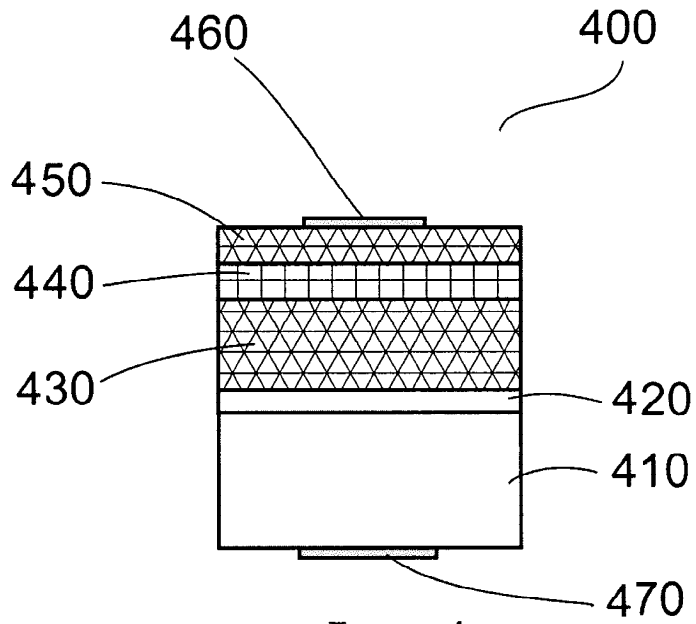
Фиг.1



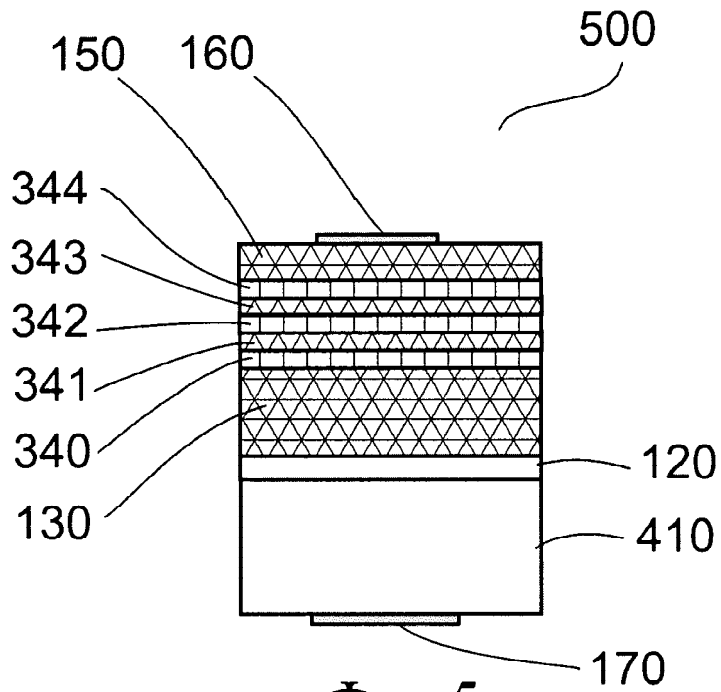
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5