

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013156425/28, 18.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.12.2013

(45) Опубликовано: 27.04.2015 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US2002171087A1, 21.11.2002.  
US2008296373A1, 04.12.2008. JP2011101054A,  
19.05.2011. US2011198635A1, 18.08.2011.  
US8368100B2, 05.02.2013.  
RU2247444C1, 27.02.2005. RU2449422C1,  
27.04.2012. RU2303833C1, 10.02.20

Адрес для переписки:

190031, Санкт-Петербург, а/я 341, Степановой  
Н.И.

(72) Автор(ы):

Васильева Елена Дмитриевна (RU),  
Закгейм Дмитрий Александрович (RU),  
Иткинсон Григорий Владимирович (RU),  
Кукушкин Михаил Васильевич (RU),  
Марков Лев Константинович (RU),  
Осипов Олег Валерьевич (RU),  
Павлюченко Алексей Сергеевич (RU),  
Смирнова Ирина Павловна (RU),  
Тугушев Марат Шамильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью  
"Научно-технический центр НТС  
Инновации" (RU)

## (54) СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЙ ДИОД

(57) Реферат:

Изобретение относится к светоизлучающим диодам, содержащим эпитаксиальные структуры на основе нитридных соединений металлов III группы. Светоизлучающий диод содержит эпитаксиальную структуру на основе твердых растворов нитридов металлов третьей группы, включающую расположенные последовательно в направлении эпитаксиального роста слой n-типа проводимости, активный слой с p-n-переходом, слой p-типа проводимости, а также металлические контактные площадки к слою n-типа проводимости, размещенные в углублениях, сформированных в эпитаксиальной структуре на уровне слоя n-типа проводимости, при этом светоизлучающий диод содержит металлический p-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве положительного электрода, нанесенный поверх слоя p-типа проводимости, изоляционный слой, покрывающий металлический p-контактный слой и внутреннюю боковую поверхность углублений, сформированных в эпитаксиальной структуре, и

металлический p-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве отрицательного электрода, покрывающий изоляционный слой и контактирующий с каждой металлической контактной площадкой к слою p-типа проводимости, согласно изобретению металлические контактные площадки к слою n-типа проводимости в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода имеют вид двух узких протяженных полос, каждая из которых расположена на периферии одной из половин указанного сечения и проходит вдоль большей части ее границы с отступом от нее, первый и второй концевые участки одной полосы расположены с зазором соответственно относительно первого и второго концевого участка второй полосы, при этом указанные полосы образуют фигуру, конфигурация которой соответствует конфигурации периметра светоизлучающего диода, имеющую разрыв в срединной ее части. Изобретение обеспечивает

повышение однородности плотности тока в активной области светодиода и уменьшение

последовательного электрического сопротивления. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.

R U 2 5 4 9 3 3 5 C 1

R U 2 5 4 9 3 3 5 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013156425/28, 18.12.2013**(24) Effective date for property rights:  
**18.12.2013**

Priority:

(22) Date of filing: **18.12.2013**(45) Date of publication: **27.04.2015** Bull. № 12

Mail address:

**190031, Sankt-Peterburg, a/ja 341, Stepanovoj N.I.**

(72) Inventor(s):

**Vasil'eva Elena Dmitrievna (RU),  
Zakgejm Dmitrij Aleksandrovich (RU),  
Itkinson Grigorij Vladimirovich (RU),  
Kukushkin Mikhail Vasil'evich (RU),  
Markov Lev Konstantinovich (RU),  
Osipov Oleg Valer'evich (RU),  
Pavljuchenko Aleksej Sergeevich (RU),  
Smirnova Irina Pavlovna (RU),  
Tugushev Marat Shamil'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Nauchno-tehnicheskij tsentr NTS Innovatsii"  
(RU)**

(54) **LIGHT-EMITTING DIODE**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: light-emitting diode contains epitaxial structure based on solid solutions of nitrides of third group metals, which includes successively placed in direction of epitaxial growth layer of n-type conductivity, active layer with p-n-transition, layer of p-type conductivity, as well as metal contact sites to layer of n-type conductivity, placed in hollows, formed in epitaxial structure at the level of n-type conductivity layer, and light-emitting diode contains metal p-contact layer, intended for its application as positive electrode, applied above p-type conductivity layer, insulation layer, which covers metal p-contact layer and internal side surface of hollows, formed in epitaxial structure, and metal p-contact layer, intended for application as negative electrode, which covers insulation layer and

contacts with each metal contact site to p-type conductivity layer, according to invention metal contact areas to n-type conductivity layer in horizontal plane of light-emitting diode section look as two narrow extended belts, each of which is placed on periphery of one of the halves of said section and passes along larger part of its border with indent from it, first and second end parts of one belt are placed with clearance respectively relative to first and second end parts of second belt. Said belts form figure, configuration of which corresponds to configuration of light-emitting diode perimeter, with a gap in its middle part.

EFFECT: increase of current density homogeneity in active area of light-diode and reduction of successive electric resistance.

2 cl, 4 dwg

**R U**  
**2 5 4 9 3 3 5**  
**C 1**

**C 1**  
**2 5 4 9 3 3 5**  
**R U**

Изобретение относится к области полупроводниковых светоизлучающих приборов, а именно к светоизлучающим диодам, содержащим эпитаксиальные структуры на основе нитридных соединений металлов III группы - алюминия, галлия, индия ( $A^{III}N$ ).

Оптические характеристики светоизлучающего диода и его выходная мощность в значительной степени определяются допустимой величиной питающего тока и условиями его протекания через светодиод, на которые оказывают влияние конфигурация и место расположения положительного и отрицательного электродов - металлических р- и п-контактных площадок к слоям соответственно р- и п-типа проводимости, с помощью которых осуществляется соединение светодиода с источником тока.

В светодиодных эпитаксиальных структурах (светоизлучающих кристаллов) на основе нитрида галлия слой р-типа проводимости характеризуется низкой электропроводностью, так что подводимый к светодиоду ток практически не растекается по указанному слою, а протекает в непосредственной близости от металлических р-контактных площадок (площадки) вертикально вниз через активную область с р-п-переходом, растекается по слою п-типа проводимости, имеющему относительно большую, электропроводность, и течет к п-контактным площадкам (площадке). При этом в проекции на горизонтальную плоскость сечения светодиода область, в которой осуществляется генерация света (площадь р-п-перехода), геометрически повторяет область, занимаемую р-контактными площадками (площадкой), и не включает область, занимаемую п-контактными площадками (площадкой).

Средняя плотность тока в активной области определяется соотношением тока питания и площади, занимаемой р-контактными площадками (площадкой). Помимо средней плотности тока важной характеристикой тока, влияющей на равномерность инжекции носителей и, соответственно, на равномерность интенсивности излучения, является однородность плотности тока в активной области, характеризующая равномерность его распределения. Следует отметить, что неравномерность распределения тока в активной области приводит к снижению общей эффективности светодиода и уменьшению срока его эксплуатации.

Плотность тока достигает максимума вблизи п-контактных площадок (площадки) и экспоненциально спадает по мере удаления от них (от нее). При этом однородность плотности тока зависит не только от площади и положения, но и от формы п-контактных площадок (площадки).

Таким образом, геометрия, размеры и расположение п-контактных площадок (площадки) должны, по возможности, обеспечивать однородность плотности тока в активной области (равномерность его распределения по площади р-п-перехода), а также малое значение контактного сопротивления к п-слою проводимости при относительно небольшой площади, чтобы занимать как можно меньше площади активной области светодиода.

Известен светодиод на основе нитридных соединений  $AlInGaN$  [US 6518598], в котором р- и п-контактным площадкам, расположенным, соответственно, на уровне слоев р- и п-типа проводимости, придана форма "расширяющейся спирали". Указанная конфигурация контактных площадок способствует обеспечению однородности плотности тока в активной области. Однако данная конструкция светодиода имеет сложную топологию, что снижает технологичность его изготовления и надежность работы. Кроме того, при указанной конфигурации контактных площадок не удается достигнуть относительно большой площади р-п-перехода.

Известен светоизлучающий диод на основе нитридных соединений  $AlInGaN$  [US 6521914], который содержит расположенные на уровне нижнего эпитаксиального слоя

п-типа проводимости металлические п-контактные площадки и расположенные на уровне верхнего эпитаксиального слоя р-типа проводимости металлические р-контактные площадки, при этом в проекции на горизонтальную плоскость сечения светодиода области, занимаемые указанными площадками, расположены

5 чередующимися полосами, образуя встречно-штыревую (гребенчатую) конфигурацию.

Рассматриваемый светодиод обеспечивает возможность пропускания значительного по величине тока питания и имеет относительно низкое электрическое сопротивление. Однако в данной конструкции светодиода также не удается достигнуть относительно большой площади р-п-перехода.

10 Известен светоизлучающий диод на основе нитридных соединений AlInGaN [RU 2247444], который содержит металлические п-контактные площадки к слою п-типа проводимости, размещенные в углублениях, сформированных в эпитаксиальной структуре на уровне слоя п-типа проводимости, а также металлический р-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве положительного электрода, 15 нанесенный поверх слоя р-типа проводимости. При этом п-контактные площадки электрически соединены с помощью металлических шин, проходящих поверх р-контактного слоя по изоляционным полосам, нанесенным на участки р-контактного слоя, над которыми проходят металлические шины.

Используемые в данном светодиоде п-контактные площадки могут быть выполнены 20 в виде фрагментов, в горизонтальном сечении светодиода имеющих форму кругов, расположенных в указанном сечении рядами, или имеющих Г-образную форму, расположенных в центральной части указанного сечения и образующих углы квадрата.

В данном светодиоде р-контактный слой образует р-контактную площадку, площадь которой в проекции на горизонтальную площадь сечения светодиода занимает 25 значительную часть его площади, что способствует увеличению площади р-п-перехода. При этом металлический р-контактный слой, выполняющий роль положительного электрода, дополнительно служит в качестве отражающего слоя, что способствует снижению световых потерь.

Однако, как показали исследования авторов, в данном светодиоде не обеспечивается 30 однородность плотности тока в активной области. При круговой форме п-контактных площадок максимальная плотность тока достигается по их периметру, а в прочих зонах плотность тока меньше. При использовании Г-образных фрагментов, расположенных указанным выше образом, в проекции на горизонтальное сечение светодиода в центральной зоне активной области плотность тока значительно больше, чем в ее 35 прочих зонах.

Кроме того, наличие комбинации из сформированных поверх р-контактного слоя изоляционных полос и проходящих поверх них металлических шин усложняет технологию изготовления светодиода и снижает его эксплуатационную надежность.

40 Известен светоизлучающий диод на основе нитридных соединений AlInGaN [US 8368100], выбранный в качестве ближайшего аналога.

Рассматриваемый светодиод содержит эпитаксиальную структуру на основе твердых растворов нитридов металлов третьей группы, включающую расположенные последовательно в направлении эпитаксиального роста слой п-типа проводимости, активный слой с р-п-переходом, слой р-типа проводимости, а также металлические п-контактные площадки, размещенные в углублениях, сформированных в эпитаксиальной 45 структуре на уровне слоя п-типа проводимости, имеющие в проекции на горизонтальную плоскость сечения светодиода круглую форму и расположенные в указанной плоскости рядами.

Кроме того, светодиод содержит металлический р-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве положительного электрода, нанесенный поверх слоя р-типа проводимости, изоляционный слой, покрывающий металлический р-контактный слой и внутреннюю боковую поверхность углублений, сформированных в эпитаксиальной структуре, и металлический п-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве отрицательного электрода, покрывающий изоляционный слой и контактирующий с каждой металлической п-контактной площадкой.

Особенностью данного светодиода является наличие р- и п-контактных слоев, выполняющих роль положительного и отрицательного электродов, а также являющихся отражающими слоями, обеспечивающими снижение световых потерь. При этом р-контактный слой образует р-контактную площадку, площадь которой в проекции на горизонтальную плоскость сечения светодиода занимает большую часть его площади, что способствует достижению относительно большой площади р-п-перехода.

За счет наличия п-контактного слоя в рассматриваемом светодиоде нет необходимости организовывать специальные межсоединения между п-контактными площадками, что упрощает конструкцию светодиода.

Однако указанные форма и расположение п-контактных площадок не обеспечивают высокой однородности плотности тока в активной области и относительно малого последовательного электрического сопротивления току при протекании его по п-контактному слою к п-контактным площадкам.

Задачей заявляемого изобретения является повышение однородности плотности тока в активной области светодиода и уменьшение последовательного электрического сопротивления.

Сущность изобретения заключается в том, что в светоизлучающем диоде, содержащем эпитаксиальную структуру на основе твердых растворов нитридов металлов третьей группы, включающую расположенные последовательно в направлении эпитаксиального роста слой п-типа проводимости, активный слой с р-п-переходом, слой р-типа проводимости, а также металлические контактные площадки к слою п-типа проводимости, размещенные в углублениях, сформированных в эпитаксиальной структуре на уровне слоя п-типа проводимости, при этом светоизлучающий диод содержит металлический р-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве положительного электрода, нанесенный поверх слоя р-типа проводимости, изоляционный слой, покрывающий металлический р-контактный слой и внутреннюю боковую поверхность углублений, сформированных в эпитаксиальной структуре, и металлический п-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве отрицательного электрода, покрывающий изоляционный слой и контактирующий с каждой металлической контактной площадкой к слою п-типа проводимости, согласно изобретению металлические контактные площадки к слою п-типа проводимости в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода имеют вид двух узких протяженных полос, каждая из которых расположена на периферии одной из половин указанного сечения и проходит вдоль большей части ее границы с отступом от нее, первый и второй концевые участки одной полосы расположены с зазором соответственно относительно первого и второго концевого участка второй полосы, при этом указанные полосы образуют фигуру, конфигурация которой соответствует конфигурации периметра светоизлучающего диода, имеющую разрыв в срединной ее части.

В частном случае выполнения изобретения светоизлучающий диод содержит дополнительную металлическую контактную площадку к слою п-типа проводимости,

имеющую в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода вид узкой протяженной полосы, расположенной в центральной части указанного сечения и ориентированной вдоль линии разрыва, имеющегося в фигуре, образованной двумя расположенными на периферии протяженными полосами.

5 В заявляемом светодиоде р-контактный слой образует р-контактную площадку, площадь которой в проекции на горизонтальную плоскость сечения светодиода занимает большую часть его площади. При этом суммарная площадь п-контактных площадок, выполненных в виде двух узких полос, занимает очень малую часть площади светодиода. Указанные факторы способствуют увеличению площади р-п-перехода заявляемого  
10 светодиода и, соответственно, величины генерируемого светового потока.

Используемые в заявляемом светодиоде металлические р- и п-контактные слои выполняют роль положительного и отрицательного электродов, с помощью которых светодиод подключается к источнику тока. При этом отсутствует необходимость использования специальных межсоединений между п-контактными площадками, что  
15 упрощает конструкцию светодиода.

Указанные слои выполняют также функцию отражения генерируемого в активной области светодиода излучения, что способствует снижению световых потерь. Для изготовления данных слоев преимущественно используют металлы с высоким коэффициентом отражения света в диапазоне длин волн собственного излучения  
20 светодиода. При этом рассматриваемые р- и п-контактные слои могут представлять собой многослойные системы и содержать элементы, предназначенные для последующего монтажа кристаллов в светоизлучающем приборе.

Указанные конфигурация и место расположения п-контактных площадок, имеющих в горизонтальном сечении светодиода вид двух периферийных узких полос, проходящих  
25 вдоль границ периметра горизонтального сечения светодиода с отступом от них, были выбраны авторами расчетно-экспериментальным путем и, как показали исследования авторов, являются оптимальными с точки зрения обеспечения относительно высокой однородности плотности тока в активной области и достижения относительно малого последовательном сопротивлении току, протекающему по п-контактному слою к п-  
30 контактным площадкам.

Благодаря наличию зазоров между концевыми участками п-контактных площадок обеспечивается электрическая связанность р-контактной площадки.

Конкретные значения геометрических параметров, характеризующих конфигурацию и месторасположения п-контактных площадок, такие как ширина п-контактных  
35 площадок, величина удаления п-контактных площадок от границ (краев) горизонтального сечения светодиода, определяются в процессе компьютерного моделирования с учетом таких величин, как площадь светодиода, ток питания (рабочий ток), допустимое контактное сопротивление п-контактных площадок, характеристика однородности плотности тока в активной области, например, средняя плотность тока  
40 и/или допустимая величина среднего квадратичного отклонения плотности тока в активной области.

Таким образом, техническим результатом, достигаемым при реализации заявляемого изобретения, является повышение однородности плотности тока в активной области светодиода и уменьшение последовательного электрического сопротивления току при  
45 протекании его по п-контактному слою к п-контактным площадкам.

В случае, когда площадь светодиода в горизонтальном сечении имеет относительно большую величину, целесообразным с точки зрения достижения более высокой однородности плотности тока в активной области является формирование

дополнительной описанной выше узкой n-контактной площадки в центральной части указанной площади сечения.

Как показывает практика, формирование такой дополнительной n-контактной площадки следует осуществлять, если размеры сечения светодиода превышает 650×650 мкм.

На фиг.1 представлен общий вид заявляемого светодиода (вид спереди в разрезе); на фиг.2 представлен вид горизонтального сечения светодиода на уровне расположения p-контактного слоя; на фиг.3 представлена характеристика распределения интенсивности излучения (I) светодиода, в относительных единицах, в зависимости от расстояния (d) до края активной области светодиода в мкм (в сечении активной области по плоскости А-А, показанной на фиг.2); на фиг.4 представлена характеристика распределения интенсивности излучения (I) светодиода, в относительных единицах, в зависимости от расстояния (d) до края активной области светодиода в мкм (в сечении активной области по плоскости В-В, показанной на фиг.2).

Светоизлучающий диод содержит расположенную на подложке 1 эпитаксиальную структуру на основе твердых растворов нитридов металлов третьей группы. Указанная структура включает расположенные последовательно в направлении эпитаксиального роста слой 2 n-типа проводимости, активный слой 3 с p-n-переходом, слой 4 p-типа проводимости, металлический p-контактный слой 5, изоляционный слой 6 и металлический n-контактный слой 7. В эпитаксиальной структуре сформированы углубления (позицией не обозначены) до уровня слоя 2 n-типа проводимости, в которых размещены металлические n-контактные площадки 8. Металлический n-контактный слой 7 контактирует с каждой n-контактной площадкой 8, в частности, роль n-контактных площадок выполняют участки указанного слоя 7, находящиеся в непосредственном контакте с открытыми участками слоя n-типа проводимости.

Для подвода тока к p-контактному слою 5 светодиод содержит расположенные на краевых участках поверхности светодиода металлические p-контакты 9, контактирующие с p-контактным слоем 5 и со средством подвода тока (на чертеже не показано). В частности, указанные p-контакты 9 охватывают боковую поверхность эпитаксиальной структуры, выполняя функцию отражения света и способствуя тем самым снижению потерь света.

Металлические n-контактные площадки 8 (фиг.2) в горизонтальной плоскости сечения (в проекции на активную область) имеют вид двух узких протяженных полос 10 и 11. Каждая полоса 10, 11 расположена на периферии одной из половин горизонтального сечения светодиода (горизонтального сечения активной области) и проходит вдоль большей части внешней границы указанной половины сечения с отступом от указанной границы. Первый и второй концевые участки полосы 10 расположены с зазором (на чертеже позицией не обозначен) соответственно относительно первого и второго концевого участка полосы 11. При этом указанные полосы 10 и 11 образуют фигуру, конфигурация которой соответствует конфигурации периметра светоизлучающего диода (его активной области) в горизонтальной плоскости, имеющую разрыв а-а в срединной части указанной фигуры.

В частности, для светодиода (фиг.2) общей площадью 1.3 мм<sup>2</sup>, имеющего площадь активной области 1 мм<sup>2</sup>, расчетно-экспериментальным путем были выбраны ширина и величина указанного выше отступа, в частности, в пересчете на отступ от границ активной области, которые составили соответственно 18 и 140 мкм.

Поскольку рассматриваемый светодиод имеет относительно большую площадь в горизонтальном сечении (относительно большую площадь активной области), он



содержит дополнительную металлическую п-контактную площадку 8, имеющую в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода вид узкой протяженной полосы 12, расположенной в центральной части указанного сечения и ориентированной вдоль линии разрыва а-а. Расчетно-экспериментальным путем были выбраны ширина

полосы и ее протяженность, которые составили соответственно 18 и 350 мкм.

Устройство работает следующим образом.

При подключении р-контактного слоя 5 с помощью средства токоподвода, в частности, с помощью р-контакта 9, к положительному полюсу источника тока, а п-контактного слоя 7 с помощью средства токоподвода (на чертеже не показано) к отрицательному полюсу источника тока, через светодиод течет ток. Подводимый к светодиоду ток растекается по р-контактному слою 5 и протекает вертикально вниз через слой 4 р-типа проводимости, активный слой 3 с р-п-переходом, растекается по слою 2 п-типа проводимости и течет к п-контактным площадкам 8. При этом в активной области светодиода генерируется световое излучение.

Как показывают эксперименты (см. фиг.3 и фиг.4), интенсивность излучения, генерируемого в активной области светодиода, как в сечении А-А, так и в сечении В-В является достаточно равномерной («провалы» характеристики интенсивности излучения на фиг.1 и фиг.2 соответствуют участкам, занятым п-контактными площадками 8).

Поскольку характеристики интенсивности излучения светодиода определяются характеристиками распределения тока в активной области, можно сделать вывод, что заявляемый светодиод обладает относительно высокой однородностью плотности тока в активной области.

#### Формула изобретения

1. Светоизлучающий диод, содержащий эпитаксиальную структуру на основе твердых растворов нитридов металлов третьей группы, включающую расположенные последовательно в направлении эпитаксиального роста слой р-типа проводимости, активный слой с р-п-переходом, слой р-типа проводимости, а также металлические контактные площадки к слою р-типа проводимости, размещенные в углублениях, сформированных в эпитаксиальной структуре на уровне слоя п-типа проводимости, при этом светоизлучающий диод содержит металлический р-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве положительного электрода, нанесенный поверх слоя р-типа проводимости, изоляционный слой, покрывающий металлический р-контактный слой и внутреннюю боковую поверхность углублений, сформированных в эпитаксиальной структуре, и металлический п-контактный слой, предназначенный для использования его в качестве отрицательного электрода, покрывающий изоляционный слой и контактирующий с каждой металлической контактной площадкой к слою п-типа проводимости, отличающийся тем, что металлические контактные площадки к слою п-типа проводимости в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода имеют вид двух узких протяженных полос, каждая из которых расположена на периферии одной из половин указанного сечения и проходит вдоль большей части ее внешней границы с отступом от нее, первый и второй концевые участки одной полосы расположены с зазором соответственно относительно первого и второго концевого участка второй полосы, при этом указанные полосы образуют фигуру, конфигурация которой соответствует конфигурации периметра светоизлучающего диода, имеющую разрыв в серединной ее части.

2. Светоизлучающий диод по п.1, отличающийся тем, что он содержит дополнительную металлическую контактную площадку к слою п-типа проводимости,

имеющую в горизонтальной плоскости сечения светоизлучающего диода вид узкой протяженной полосы, расположенной в центральной части указанного сечения и ориентированной вдоль линии разрыва, имеющегося в фигуре, образованной двумя расположенными на периферии протяженными полосами.

5

10

15

20

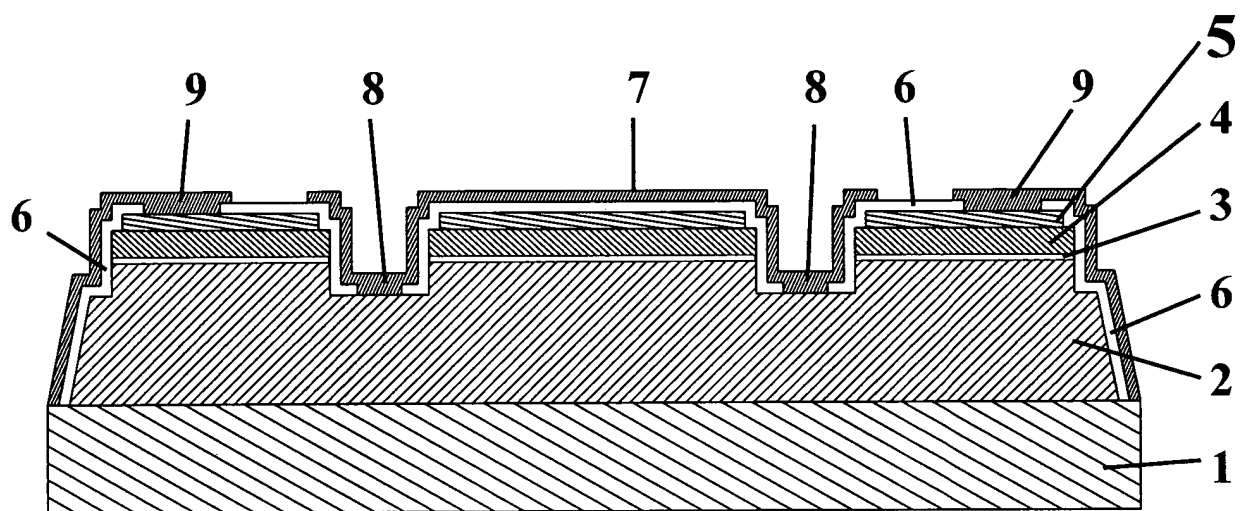
25

30

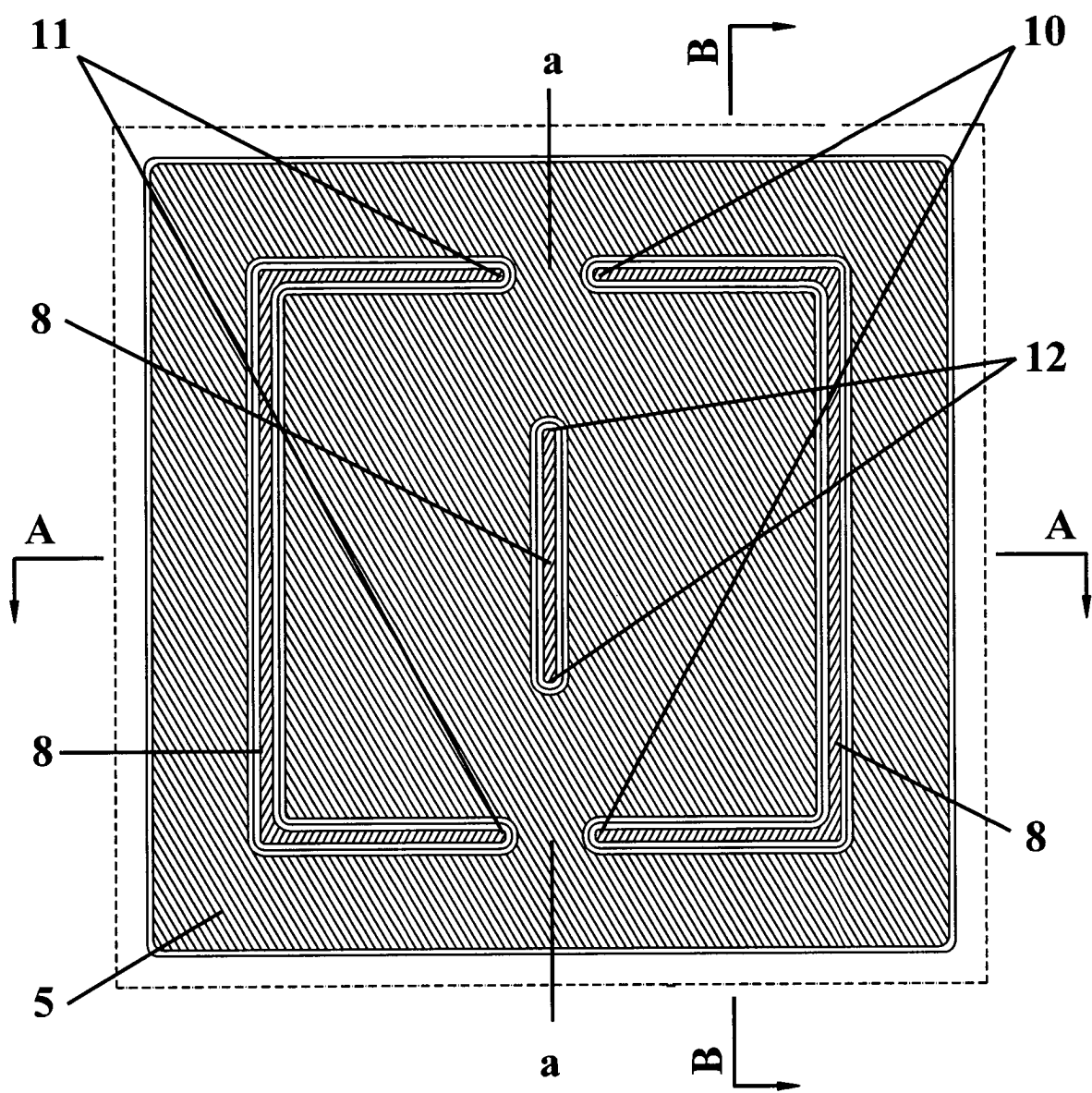
35

40

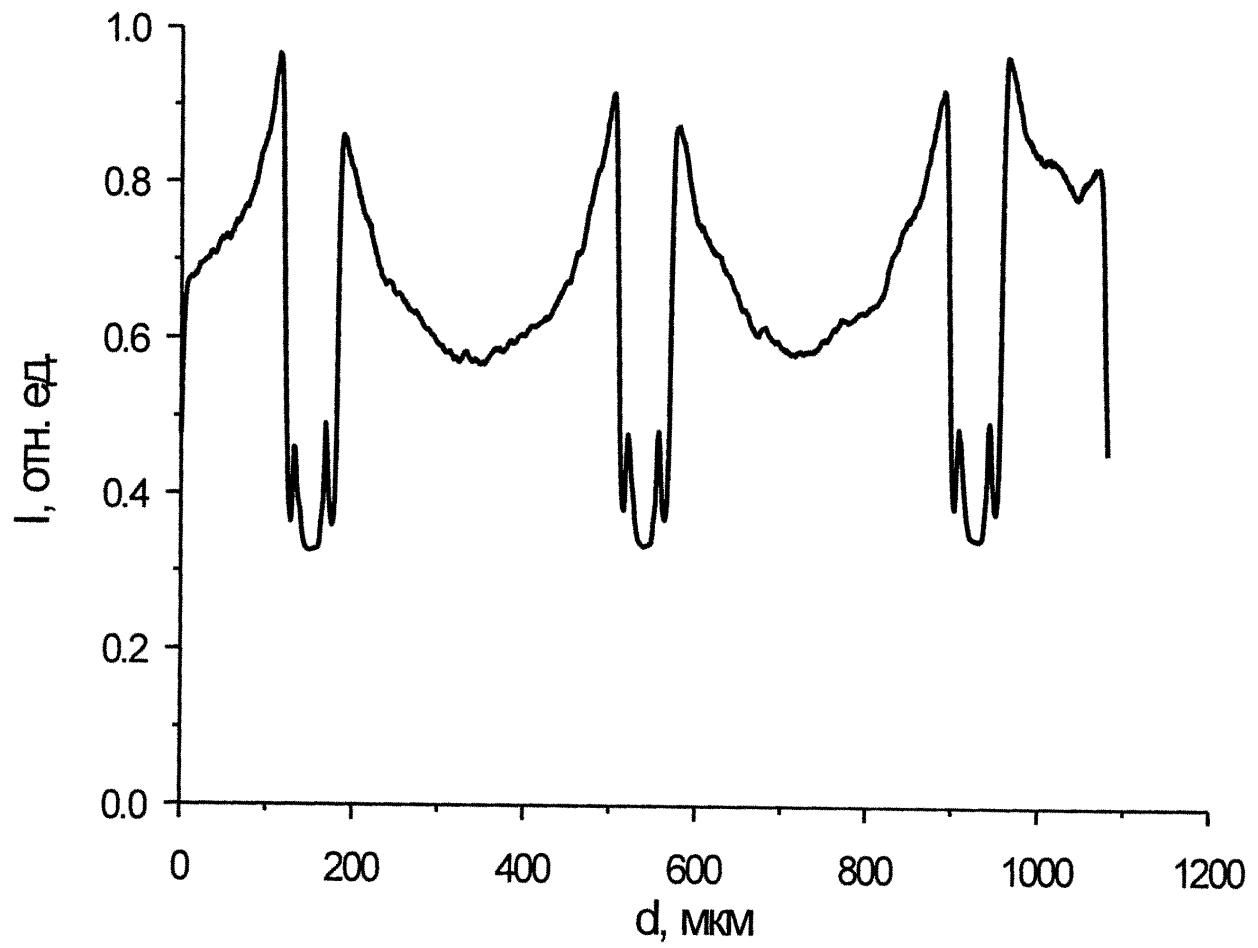
45



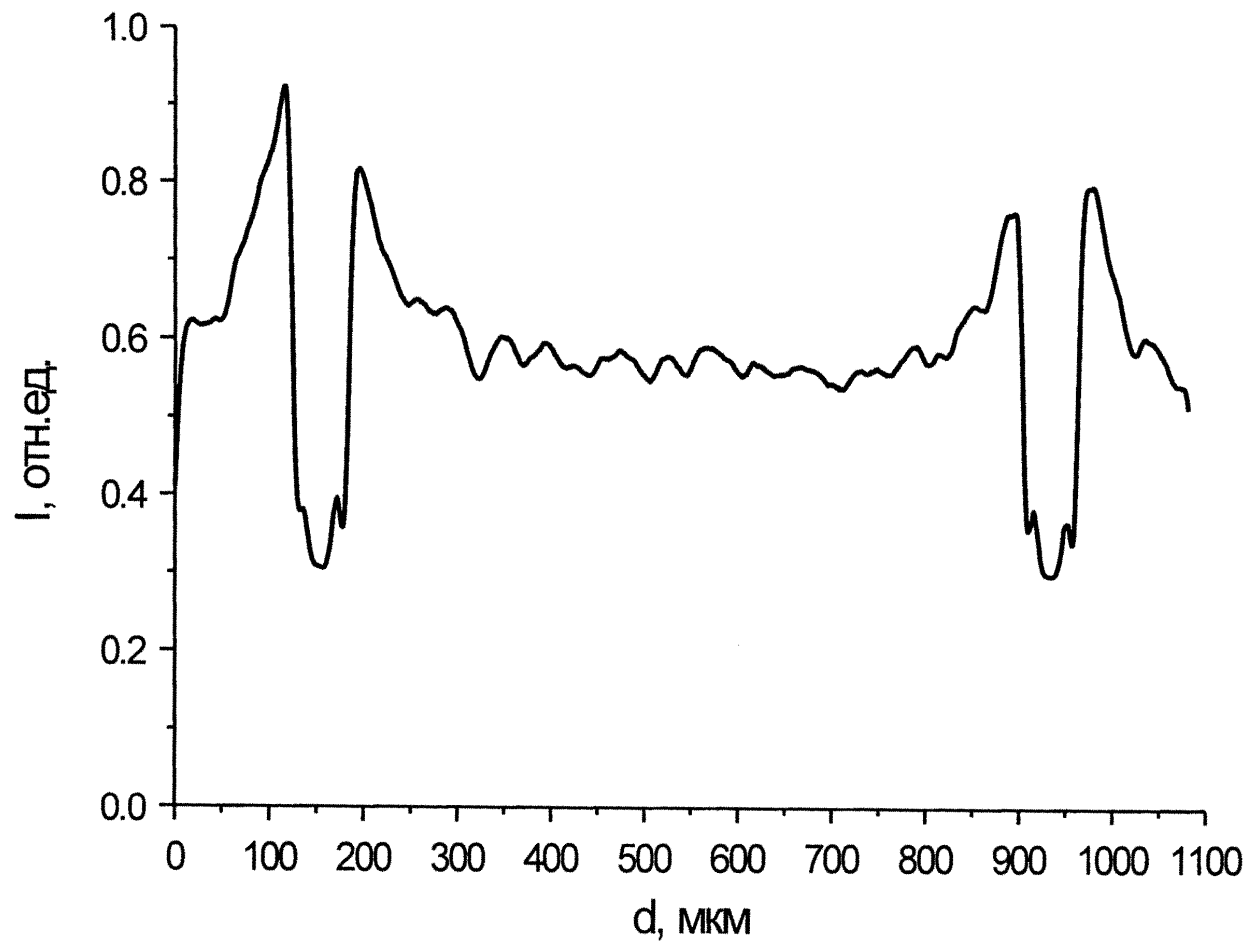
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4