

Фотоэлектроника

УДК 621.383:621.315.5

Исследование фотодиодов с токами утечки в матричных фотоприемниках на основе антимонида индия

К. О. Болтарь, П. В. Власов, В. В. Ерошенков, А. А. Лопухин

Проведено исследование основных причин возникновения фотодиодов с токами утечки в МФПУ на основе антимонида индия. На большом объеме МФЧЭ установлена связь одноточечной дефектности с напряжением пробоя, диффузионной длиной, концентрацией основных носителей и плотностью дислокаций. Представлены характерные распределения дефектности по пластинам антимонида индия. Показано влияние на дефектность качества обработки пластин после резки слитков и погрешностей технологии изготовления.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Ключевые слова: матричное фотоприемное устройство, антимонид индия, дефектность.

Введение

Достигнутый в настоящее время уровень дефектности в изготавливаемых ОАО «НПО «Орион» серийных матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) формата 320×256 элементов на основе антимонида индия составляет около 0,1—0,3 % [1—10]. В основной массе эти 80—250 элементов матрицы обусловлены токами утечки фотодиодов. Их особенность состоит в том, что они не поддаются визуальному контролю. Условно можно назвать их «скрытыми» дефектами, то есть обусловленными полупроводниковым материалом и его обработкой. Это тот минимальный уровень дефектности, который на данном этапе позволяет реализовать технология изготовления МФПУ.

В данной работе сделана попытка выявить причины, обуславливающие подобного рода дефекты, с целью определения путей для их устра-

нения. Большой объем изготовленных за несколько лет матричных фоточувствительных элементов (МФЧЭ) позволил собрать статистические данные, ставшие основой работы.

Предмет исследования

Исследованы параметры МФЧЭ с девяти слитков антимонида индия, характеризующихся двумя значениями концентраций основных носителей (с двух сторон слитка), плотностью дислокаций и средним значением диффузионной длины. Параметры слитков приведены в таблице.

Напряжение пробоя

В процессе изготовления МФЧЭ контроль вольт-амперных характеристик проводился дважды: до создания индиевых микроконтактов (то есть на Ni) и после (на In). На рис. 1 представлены интегральные функции распределения МФЧЭ по величине напряжения пробоя при токе 5 нА для различных слитков. Данные получены из измерений вольтамперных характеристик МФЧЭ до стыковки с БИС считывания, и каждая точка на графиках — это пластина InSb. Наблюдается хорошая корреляция между напряжением пробоя до и после изготовления индиевых микроконтактов. Таким образом, операции, связанные с изготовлением индиевых столбов, существенно не ухудшают характеристик. Среди прочих выделяются два слитка: лучше остальных держит обратное напряжение сл.6 (С/17-249П), а хуже всех сл.10 (N578). Остальные слитки группируются между ними.

Болтарь Константин Олегович, начальник НТК¹, профессор².

Власов Павел Валентинович, ведущий инженер¹.

Ерошенков Владимир Владимирович, инженер 2 категории¹.

Лопухин Алексей Алексеевич, начальник участка измерений¹.

¹ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов, 46/2

Тел.: (499) 374-94-00, 374-94-01. Факс (499) 373-68-62.

E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт

(государственный университет)

Россия, 141700, Моск. обл., Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 20 июля 2014 г.

© Болтарь К. О., Власов П. В., Ерошенков В. В., Лопухин А. А., 2014

Таблица

Параметры слитков антимонида индия

Слитки	L_p , мкм	n_1 , см ⁻³	n_2 , см ⁻³	N_d , см ⁻²
Сл.3 (C/20-187II)	36,67	$6,4 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	432—30,3
Сл.4 (C/20-223II)	59,23	$8,8 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	17,4—23,5
Сл.5 (C/20-152II)	53,98	$7,1 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	32—18
Сл.6 (C/17-249II)	68,43	$8,0 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	9,2—6,0
Сл.7 (N609)	73,45	$3,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	< 100
Сл.8 (C/20-206II)	61,66	$7,3 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	14,7—11,5
Сл.9 (C/20-205II)	70,30	$4,9 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	13,8—4,4
Сл.10 (N578)	54,04	$3,8 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	< 100
Сл.12 (N555)	63,12	$3,8 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	< 100

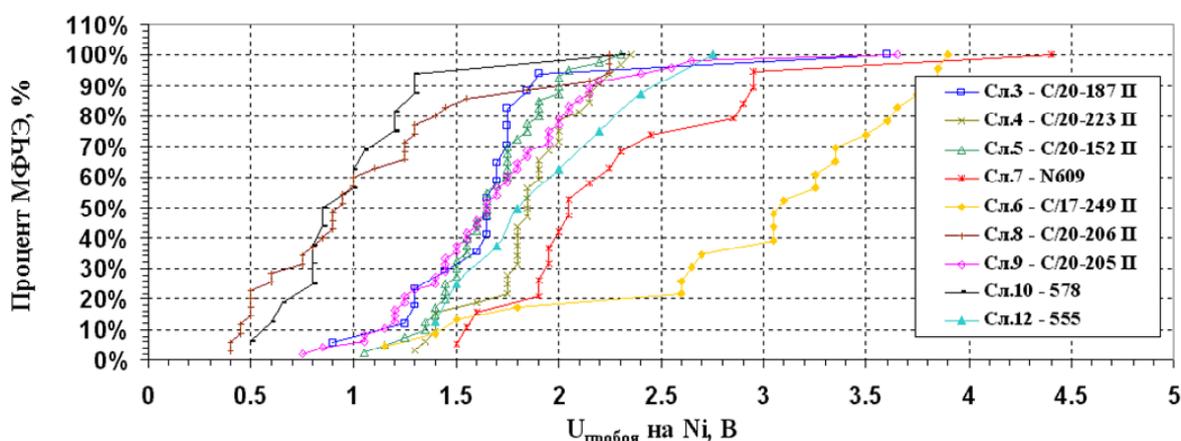
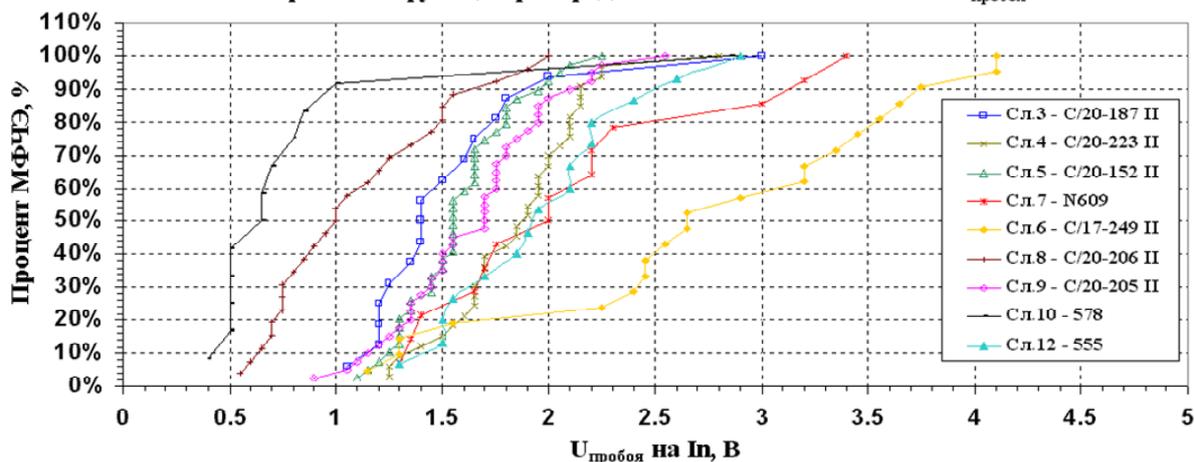
Интегральные функции распределения МФЧЭ по величине $U_{\text{пробоя}}$ на NiИнтегральные функции распределения МФЧЭ по величине $U_{\text{пробоя}}$ на In

Рис. 1. Интегральные функции распределения МФЧЭ по величине напряжения пробоя при токе 5 нА для различных слитков на этапе изготовления Ni (выше) и In (ниже)

Были периоды времени, когда сразу несколько слитков InSb находились в производстве и проходили одинаковые технологические процессы. Это означает, что разброс по напряжению пробоя связан не столько с обработкой и последующими операциями изготовления МФЧЭ, сколько с характеристиками самого слитка.

Дефектность

В качестве критерия уровня дефектности, заложенного в слитке, выбрано количество единичных дефектных фотодиодов с токами утечки. На изображении без коррекции (при положительном контрасте) они выглядят как белые точки. Под единичными подразумеваются элементы, ко-

торые не сгруппированы в дефектные кластеры. Иначе можно определить данную дефектность как «одноточечную».

Причин появления дефектных кластеров достаточно много и, как правило, они связаны со сбоем технологических операций изготовления МФЧЭ. Таким образом, кластеры усложняют картину, так как нет однозначной связи с полупроводниковым материалом. Большая же часть одноточечных дефектов потенциально связана со слитком. Интегральные функции распределения МФЧЭ по количеству единичных дефектных элементов для различных слитков представлены на рис. 2.

Из графиков видно, что сл.6 (C/17-249II) характеризуется малой одноточечной дефектностью, а сл.10 (N578), наоборот, — самой большой. При сравнении графиков на рис. 2 и рис. 1 нетрудно заметить, что в обоих случаях и промежуточные кривые располагаются примерно одинаково. Установлена четкая корреляция: если пластина плохо держит обратное напряжение, то и уровень одноточечной дефектности на ней выше. По результатам стыковок с БИС считывания сл.6 оказался рекордным в плане дефектности. По своим характеристикам среди прочих он выделяется низкой концентрацией $\sim 1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и низкой плотностью дислокаций $\sim 7,4 \cdot \text{см}^{-2}$.

Рис. 3 иллюстрирует зависимость одноточечной дефектности от параметров слитков. Наблюдается монотонная зависимость одноточечной дефектности от диффузионной длины, средней концентрации и средней плотности дислокаций. Функция зависимости не ясна, но однозначно не является линейной. Одноточечная дефектность растет с уменьшением диффузионной длины, с увеличением концентрации основных носителей и увеличением плотности дислокаций.

Стоит отметить, что количество единичных дефектных элементов хорошо соотносится с плотностью дислокаций, если последнюю пересчитать на размер одного кристалла InSb.

Суммарная дефектность

На рис. 4 приведена суммарная дефектность по всем произведенным МФЧЭ. Каждая из четырех картинок получена следующим образом. Берется карта дефектности одного МФЧЭ. Недефектному элементу приписывается значение 0, дефектному — 1. В данном случае дефект может быть любого рода: утечка, обрыв или шумящий элемент. Далее все карты дефектов суммируются. Элемент, в котором чаще попадаетея 1, будет более ярким.

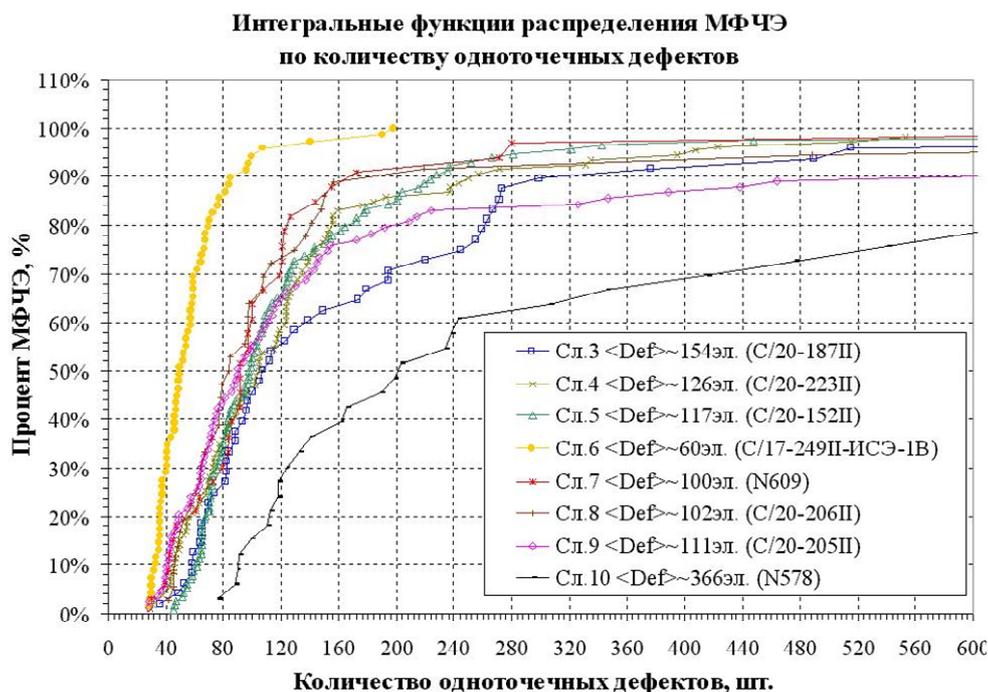


Рис. 2. Интегральные функции распределения МФЧЭ по количеству единичных дефектных элементов для различных слитков

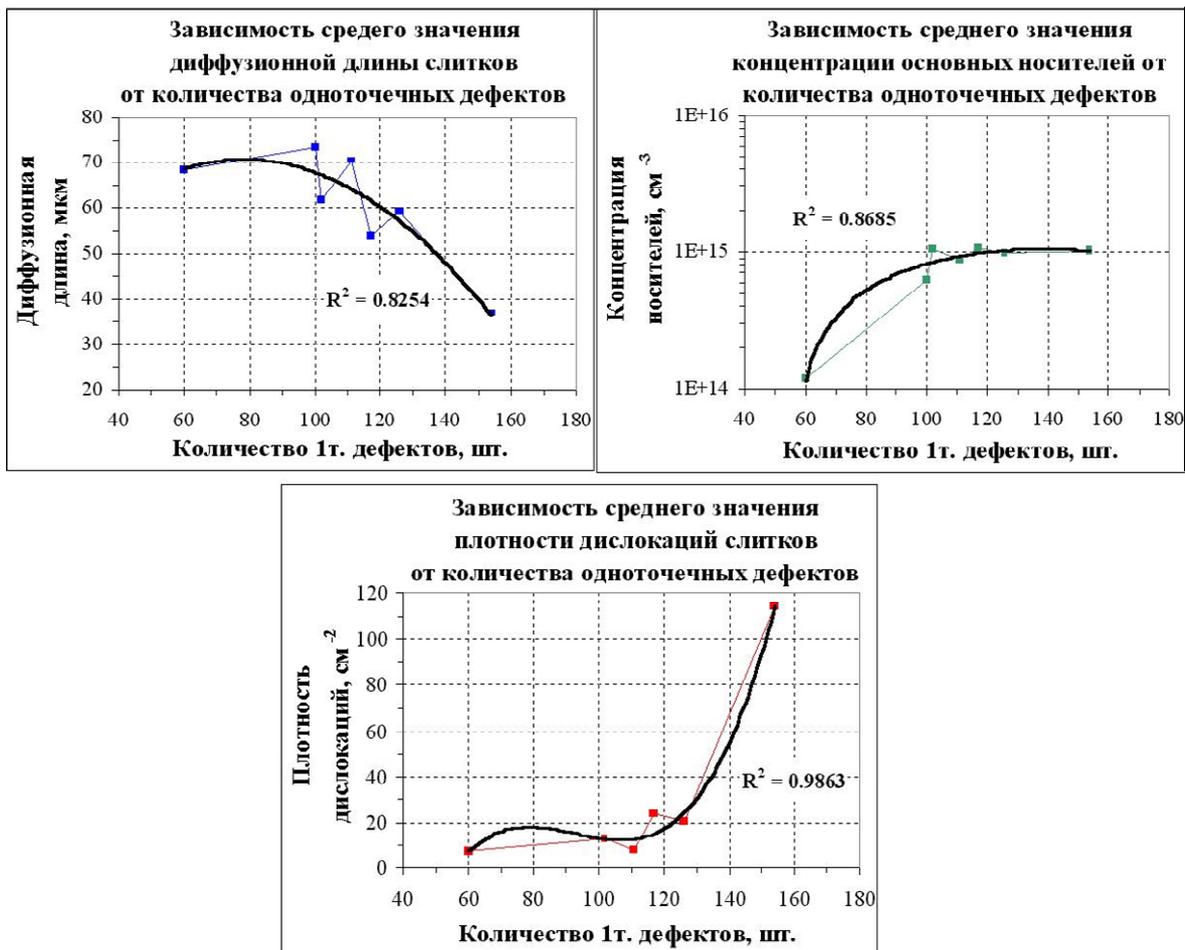


Рис. 3. Графики зависимостей среднего количества одноточечных дефектов для различных слитков от диффузионной длины неосновных носителей заряда, средней концентрации основных носителей заряда и средней плотности дислокаций

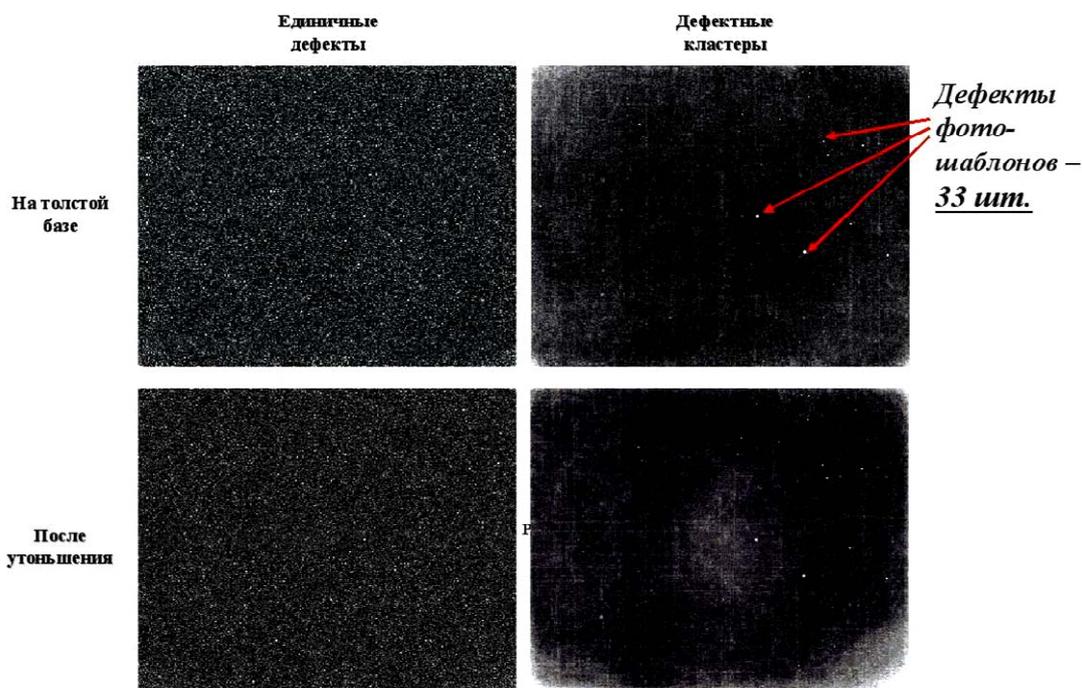


Рис. 4. Изображения суммарной (единичной и кластерной) дефектности на толстой базе и после утоньшения по всем произведенным МФЧЭ

Изображения слева получены суммированием только единичных дефектов до (на толстой базе) и после утоньшения [3]. Наблюдается достаточное равномерное распределение точек по площади.

Изображения справа получены суммированием дефектных кластеров, то есть всех дефектов, кроме единичных. Здесь выделяются углы, что связано с пережимами или неконтактом индиевых микроконтактов после гибридизации. После утоньшения проявляются следы трещин кристаллов. На общем фоне особенно выделяются яркие точки. Так как мы видим интегральную (накопленную картину), то самые яркие — это наиболее часто повторяющиеся дефектные элементы. Это дефекты фотошаблонов. Для нескольких комплектов шаблонов их насчитывается 33 шт. Причина дефектов заложена в шаблонах начальных операций, т. е. таких как формирование мезы или окон.

Заключение

Одноточечная дефектность растет с уменьшением диффузионной длины, с увеличением концентрации основных носителей и увеличением плотности дислокаций, что подтверждает связь одноточечной дефектности с материалом исходных слитков.

Таким образом, основными причинами возникновения фотодиодов с токами утечки являются:

– плотность дислокаций исходных слитков антимонида индия;

– качество обработки пластин после резки слитков;

– погрешности технологии изготовления МФЧЭ, вследствие чего, как правило, образуются дефектные кластеры.

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9.

Литература

1. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 6. С. 733.
2. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. и др. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 67.
3. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А. и др. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты). Патент РФ № 2460174. 2012.
4. Способ изготовления матричного фотоприемника. Патент на изобретение РФ № 2343590.
5. Соляков В. Н., Корнеева М. Д., Кортиков М. В. и др. // Прикладная физика. 2011. № 4. С. 96.
6. Болтарь К. О., Корнеева М. Д., Мезин Ю. С. и др. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 96.
7. Кардонов Н. В., Климанов Е. А., Ляликов А. В. и др. // Прикладная физика. 2012. № 3. С. 66.
8. Дирочка А. И., Климанов Е. А., Мезин Ю. С. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 1. С. 65.
9. Хромов С. С., Зайцев А. А. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 100.
10. Кузнецов П. А., Хромов С. С. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 321.

Research of photodiodes with a leakage current in the InSb FPA

K. O. Boltar, P. V. Vlasov, V. V. Eroshenkov and A. A. Lopuhin

Orion R&P Association, a State Scientific Center
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received July 20, 2014

In paper the causes of photodiodes defectiveness of a large format InSb focal plane arrays consisting, basically, from current leakages have been investigated. Currently achieved level of InSb FPA 320×256 defectiveness is about 0.1—0.3 %, mainly due to the semiconductor material and its processing.

Large volume of produced FPA has allowed collecting statistical data which formed the basis of this paper in which frameworks parameters of matrix photodiodes (MPD) from InSb nine ingots are investigated.

Correlation founded: if the wafer not holds back voltage, also defectiveness on it above. The ingot with low concentration of $\sim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ and dislocations low density has appeared with the minimum average defectiveness by results of bonding with a ROIC. MPD produced of one ingot and from the adjacent wafers have shown a large difference in defectiveness that it is logical to explain influence of wafers processing after is sawing.

The images obtained by summing the individual defects only on thick base and after thinning have shown sufficient uniform distribution over the area that indicating a lack of process thinning influence on defectiveness. The images obtained by summing defective clusters (that is all defects, except individual) have shown allocation of corners that is connected with edge effects: unbonding and an overclamping indium bumps after bonding in corners, cracks along the edges after thinning, etc.

Thus, the main causes of leakage currents from the photodiodes had appeared:

- Dislocation density of initial InSb ingots;*
- The quality of wafers processing after is sawing ingots;*
- Errors of MPD producing technology (usually formed defects clusters).*

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Keywords: FPA, indium antimonide photodiodes, defects.

References

1. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 733 (2013).
2. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 67 (2013).
3. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, et al., RF Patent No. 2460174. (2012).
4. RF Patent No. 2343590.
5. V. N. Solyakov, M. D. Korneeva, M. V. Kortikov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 96 (2011).
6. K. O. Boltar, M. D. Korneeva, Yu. S. Mezin, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 1, 96 (2011).
7. N. V. Kardonov, E. A. Klimanov, A. V. Lyalikov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 66 (2012).
8. A. I. Dirochka, E. A. Klimanov, Yu. S. Mezin, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 65 (2013).
9. S. S. Khromov and A. A. Zaitsev, *Prikladnaya Fizika*, No. 2, 100 (2011).
10. P. A. Kuznetsov and S. S. Khromov, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 321 (2013).