

УДК 621.315.5:621.383

## Исследование влияния светового отжига на свойства матричных фотоприемных структур на основе антимонида индия

А. А. Лопухин, В. Е. Степанюк, И. И. Таубкин, В. В. Фадеев

*Исследовано влияние светового отжига на напряжение пробоя фотодиодов на пластинах InSb, объемную диффузионную длину неосновных носителей заряда и одноточечную дефектность матричных фотоприемников (МФП) на основе InSb, изготовленных из различных слитков. Обнаружено, что объемная диффузионная длина неосновных носителей заряда в среднем меньше для светового отжига по сравнению со стандартным отжигом в печи для всех исследованных слитков InSb. Установлено отсутствие ухудшения величины напряжения пробоя на пластинах InSb, прошедших световой отжиг, по сравнению с отжигом в печи. Тот факт, что разброс одноточечной дефектности МФП оказался больше разницы средних значений дефектности при различных методах отжига свидетельствует о том, что дефектность фотодиодов не связана с методом отжига.*

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

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

### Введение

В серийной технологии изготовления матричных фотоприемных устройств (МФПУ) формата 320×256 элементов на основе антимонида индия [1] достигнут уровень дефектности около 0,2 ÷ 0,3 % [2]. В основной массе эти 150—250 элементов являются дефектами типа К.З. (короткозамкнутые) и характеризуются повышенными токами утечек. Эти дефекты не определяются при визуальном контроле и связаны, по-видимому, с качеством полупроводникового материала.

Целью данной работы было исследование влияния светового отжига на дефектность матричных фоточувствительных элементов (МФЧЭ).

### Постановка работы

Исследование проводилось с тремя слитками антимонида индия *n*-типа. Характеристики слит-

ков, а именно значения концентраций основных носителей заряда с двух сторон слитка, плотность дислокаций и среднее значение диффузионной длины неосновных носителей заряда, приведены в таблице.

МФЧЭ изготовлены по мезатехнологии, включающей прецизионное ионно-лучевое травление структуры индиевых микроконтактов и последовательное напыление слоев металлических контактов к *p*- и *n*-областям.

Под действием бомбардировки ионами  $Ve^+$  в *p*—*n*-переходах возникают дефекты. Для их устранения при формировании мезодиодов проводился отжиг на установке инфракрасного светового отжига с водородным модулем.

Технические характеристики установки следующие.

Рабочие температуры — от 50 до 650 °С;

Скорость нагрева — до 75 °С/с;

Скорость охлаждения — до 3 °С/с (от 600 до 400 °С);

Скорость охлаждения до 0,5 °С/с (от 400 до 100 °С);

Температурный PID-контроллер с возможностью сохранения программ с программированием до 100 сегментов (шагов);

Рабочие газы:  $N_2$ ,  $H_2$ , Ar и другие неагрессивные газы.

Нагрев осуществлялся инфракрасными галогеновыми лампами, расположенными сверху и снизу рабочей камеры. Рабочая камера изготовлена из кварцевого стекла с встроенной системой подачи и отвода газа. Лоток изготовлен также из кварцевого стекла.

Лопухин Алексей Алексеевич, начальник участка измерений<sup>1</sup>.

Степанюк Владимир Евгеньевич, ведущий инженер<sup>1</sup>.

Таубкин Игорь Исаакович, профессор<sup>2</sup>.

Фадеев Владислав Викторович, зам. генерального директора по науке<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>ОАО «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-ig.ru

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (Государственный университет).

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

<sup>3</sup>НТЦ ВДМ-ТЕХНОЛОГИИ.

Россия, 121002, Москва, пер. Карманицкий, 9.

Статья поступила в редакцию 29 сентября 2014 г.

© Лопухин А. А., Степанюк В. Е., Таубкин И. И., 2014

Таблица

Слитки	Диффузионная длина, мкм	Концентрация электронов (слева), см <sup>-3</sup>	Концентрация электронов (справа), см <sup>-3</sup>	Плотность дислокаций, см <sup>-2</sup>
Сл.7 (N609)	73,5	3,2·10 <sup>14</sup>	1,2·10 <sup>15</sup>	< 100
Сл.9 (C/20-205II)	70,3	4,9·10 <sup>14</sup>	1,6·10 <sup>15</sup>	13,8—4,36
Сл.10 (N578)	54	3,8·10 <sup>14</sup>	1,3·10 <sup>15</sup>	< 100

Пластины антимонида индия устанавливались на подложках из кремниевых пластин толщиной 380 мкм для более равномерного нагрева снизу. Сверху они прикрывались пластинами кремния, которые служили оптическим фильтром, поглощающим коротковолновую часть спектра ламп для снижения возможности перегрева поверхностного слоя пластин и изменения состава материала. Отжиг осуществлялся в атмосфере водорода H<sub>2</sub> чистотой 99,9999 % и скоростью потока 2 л/с.

**Влияние светового отжига**

Имплантация ионами Ве<sup>+</sup> проводилась в одностадийном режиме с параметрами (E = 40 кэВ, Φ = 10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup>) согласно разработанным технологиям [3—10] с последующим отжигом либо в печи с капсулирующей пленкой SiO<sub>2</sub> при T = 375 °С в течение 30 мин в потоке Ag и H<sub>2</sub>, либо со светом без капсулирующей пленки импульсами излучения галогенных ламп в атмосфере водорода H<sub>2</sub> (T<sub>и</sub> = 350—390 °С, t<sub>и</sub> = 30 с) в соответствии с [3, 10].

На рис. 1 представлены интегральные функции распределения напряжения пробоя фотодиодов по пластинам антимонида индия отдельно для светового отжига и отжига в печи. Ухудшение величины напряжения пробоя фотодиодов на пластинах из различных слитков антимонида индия, прошедших световой отжиг, не наблюдалось.

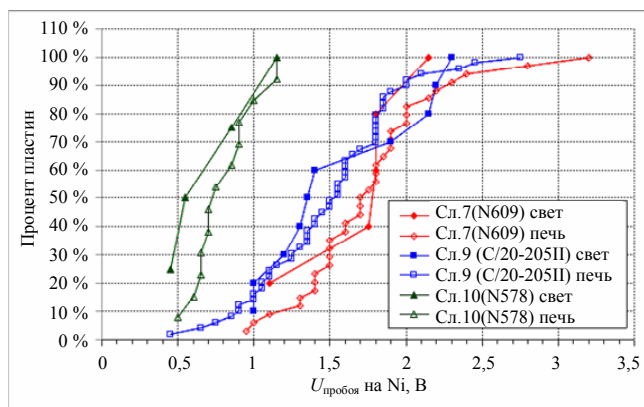


Рис. 1. Интегральные функции распределения напряжения пробоя фотодиодов на стадии формирования Ni контактов по пластинам антимонида индия со световым отжигом и отжигом в печи

На рис. 2 представлены интегральные функции распределения чувствительности фотодиодов на толстой базе для различных слитков.

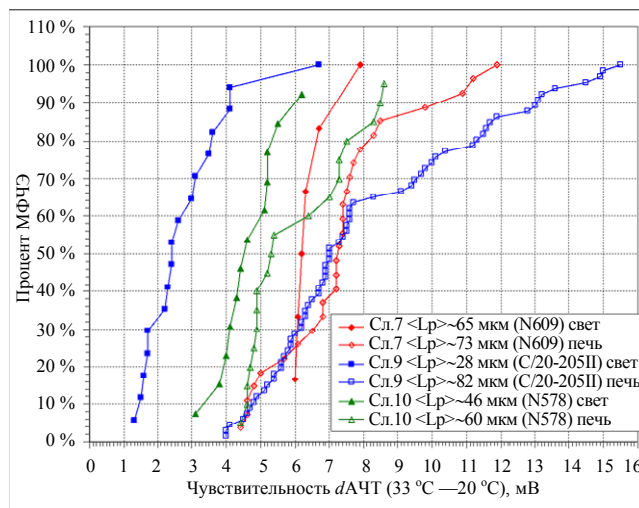


Рис. 2. Интегральные функции распределения чувствительности фотодиодов МФЧЭ на толстой базе со световым отжигом и отжигом в печи для различных слитков

Как установлено в [2], чувствительность фотодиодов с толстой базой прямо пропорциональна объемной диффузионной длине неосновных носителей заряда. Тогда из графиков на рис. 2 видна корреляция между световым отжигом и диффузионной длиной. Для всех трех слитков диффузионная длина в среднем оказалась меньше для светового отжига по сравнению со стандартным отжигом в печи, что можно объяснить воздействием на дефектность светового отжига только в области p—n-перехода. Измеренные зависимости одноточечной дефектности для слитков InSb со световым отжигом показали противоречивые результаты. Как видно из интегральных функций распределения количества одноточечных дефектов МФЧЭ (рис. 3), для слитка 7 со световым отжигом в среднем одноточечная дефектность уменьшилась в ~1,5 раза, в то время как для слитка 9 со световым отжигом в среднем одноточечная дефектность, наоборот, увеличилась в ~1,7 раза. Для слитка 10 со световым отжигом в среднем одноточечная дефектность увеличилась в ~1,4 раза. Таким образом, из того, что разброс одноточечной дефектности МФП оказался больше разницы средних значений дефектности при различных ме-

тодах отжига, можно сделать вывод о том, что дефектность фотодиодов не связана с методом отжига.

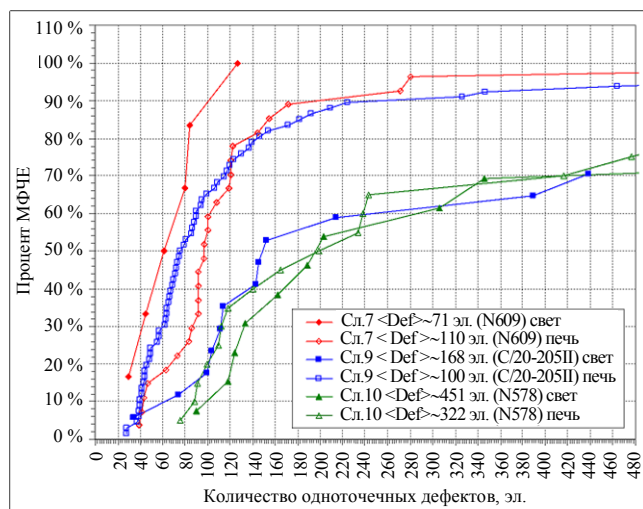


Рис. 3. Интегральные функции распределения количества одноточечных дефектов МФЧЭ со световым отжигом и отжигом в печи для различных слитков

### Выводы

Основные результаты работы можно изложить следующим образом.

1. Обнаружена связь объемной диффузионной длины неосновных носителей заряда со световым отжигом, в результате которой диффузионная длина в среднем меньше для светового отжига по сравнению со стандартным отжигом в печи, что можно объяснить воздействием светового отжига только на область  $p-n$ -перехода.

2. Не наблюдалось ухудшения величины напряжения пробоя фотодиодов на пластинах, изготовленных из различных слитков антимонида индия и прошедших световой отжиг, по сравнению с отжигом в печи.

3. Интегральные функции распределения одноточечной дефектности для слитков InSb показали, что разброс одноточечной дефектности МФП оказался больше разницы средних значений дефектности при различных методах отжига. Таким образом, основная причина дефектности фотодиодов не связана с методом отжига.

### Литература

1. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А. и др. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты) // Патент РФ № 2460174. 2012.
2. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1, № 6. С. 733.
3. Астахов В. П., Дудкин В. Ф., Карнов В. В. и др. // Вопросы оборонной техники. 1993. Сер. 11. Вып. 1—2. С. 18.
4. Астахов В. П., Гиндин Д. А., Карнов В. В. и др. // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 73.
5. Астахов В. П., Гиндин Д. А., Карнов В. В. и др. // Прикладная физика. 2001. № 5. С. 30.
6. Талимов А. В., Филиновский В. Ю., Титов А. Г. // Прикладная физика. 2002. № 4. С. 134.
7. Астахов В. П., Зиновьев В. Г., Карнов В. В. и др. // Вестник ННГУ. Сер. Физика твердого тела. 2009. № 6 (1). С. 56.
8. Астахов В. П., Гиндин Д. А., Гуляев А. М. и др. // Вестник ННГУ. Сер. Физика твердого тела. 2009. № 5. С. 48.
9. Туловчиков В. С., Жарков Е. С., Мурель А. В. и др. // Вестник ННГУ. Сер. Физика твердого тела. С. 167.
10. Артамонов А. В., Астахов В. П., Карнов В. В. и др. // Вестник МИТХТ. 2012. Т. 7, № 3. С. 46.

## Research of infrared light annealing influence on properties the InSb FPA's structures

A. A. Lopukhin<sup>1</sup>, V. E. Stepanyuk<sup>1</sup>, I. I. Taubkin<sup>2</sup>, and V. V. Fadeev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Orion R&P Association  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup>Moscow Physicotechnical Institute (State University)  
9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

3STC VDM-TECHNOLOGY  
9 Karmanitsky al., Moscow, 121002, Russia

Received September 29, 2014

*Influence infra-red light annealing on breakdown voltage on wafers InSb, bulk diffusion the length of nonbasic charge carriers and one-dot deficiency of matrix photodetectors on the basis of InSb is investigated. It is revealed, that bulk diffusion the length of nonbasic charge carriers has on*

*the average appeared less for infra-red light annealing in comparison with standard annealing in the furnace for all investigated ingots InSb that it is possible to explain influence infra-red light annealing only on p—n junction. Absence of breakdown voltage degradation on wafers InSb, the past infra-red light annealing in comparison with annealing in the furnace is established. That fact, that disorder of one-dot deficiency has appeared more differences of average values of deficiency at various methods annealing testifies that deficiency of photodiodes is not connected with a annealing method.*

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

*Keywords:* FPA, indium antimonide photodiodes, defects, photosensitivity.

#### References

1. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, et al., RF Patent No. 2460174 (2012).
2. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 733 (2013).
3. V. P. Astakhov, V. F. Dudkin, V. V. Karpov, et al., Vopr. Oboron. Tekhn. Ser. 11, No. 1—2, 18 (1993).
4. V. P. Astakhov, D. A. Gindin, V. V. Karpov, et al., Prikl. Fiz., No. 2, 73 (1999).
5. V. P. Astakhov, D. A. Gindin, V. V. Karpov, et al., Prikl. Fiz., No. 5, 30 (2001).
6. A. V. Talimov, V. Yu. Filinovsky, and A. G. Titov, Prikl. Fiz., No. 4, 134 (2002).
7. V. P. Astakhov, V. G. Zinov'ev, V. V. Karpov, et al. Vestn. NNGU. Ser.: Phys. Sol. State, No. 6. 56 (2009).
8. V. P. Astakhov, D. A. Gindin, A. M. Gulyaev, et al., Vestn. NNGU. Ser.: Phys. Sol. State, No. 5. 48 (2009).
9. V. S. Tulovchikov, E. S. Zharkov, A. V. Murel', et al., Vestn. NNGU. Ser.: Phys. Sol. State, No. 6. 167 (2009).
10. A. V. Artamonov, V. P. Astakhov, V. V. Karpov, et al., Vestn. MITKhT **7** (3), 46 (2012).