

зависимости фототока повторяет аналогичную зависимость для случая  $R = 0$  (рис. 2, а).

Интерференционные эффекты, как видно из рис. 2, оказывают значительное влияние на температурные зависимости фототока, усиливая ее (кривая б) или ослабляя (кривая в), и для данного качества пленок  $a\text{-Si} : \text{H}$  толщина  $d = 0.5$  мкм является оптимальной для изготовления фотоэлементов с улучшенной температурной стабильностью. Температурный коэффициент изменения фототока, определяемый как

$$TK = \frac{I_{\phi 2} - I_{\phi 1}}{I_{\phi 1} (T_2 - T_1)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $I_{\phi 1}$ ,  $I_{\phi 2}$  — значения фототока при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно, для структур с поглощающим свет тыльным контактом составляет  $0.3\%$  К в температурном диапазоне 283—313 К, что близко к значению  $TK$  для фотодиодов на основе  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  [6] и  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  [7], имеющего примерно такую же, как и у  $a\text{-Si} : \text{H}$ , ширину запрещенной зоны ( $\approx 1.8$  эВ). Использование отражающего тыльного контакта позволяет уменьшить температурный коэффициент фототока до  $0.14\%/K$ . Необходимо отметить, что для солнечного спектра АМ-1.5, как установлено расчетом,  $TK$  уменьшается до  $0.05\%/K$ .

Приведенные результаты показывают, что явление интерференции в значительной степени обуславливает температурное поведение фотопреобразователей на основе  $a\text{-Si} : \text{H}$  с зеркально отражающим тыльным контактом и может быть использовано для изготовления термостабильных элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Carlson D. E. Solar cells // *Semiconduct. a. Semimet. V. 21D* / Ed. by J. Pankove. P. 7—37.
- [2] Лей Л. Фотозмиссия и оптические свойства // *Физика гидрогенизированного аморфного кремния* / Под ред. Дж. Джоунопулоса и Дж. Люковски. М., 1988. В. 2. С. 86—216.
- [3] Reichman J. // *Appl. Phys. Lett.* 1981. V. 38. N 4. P. 251—253.
- [4] Манакон С. М., Сулейменов Б. С., Таурбаев Т. И., Дрюков В. Г. // *ФТП.* 1991. Т. 25. В. 9. С. 1601—1606.
- [5] Wronski C. R., Abeles B., Gody G. D., Morel D. L., Tiedje T. // *Proc. IV IEEE Photovolt. Spec. Conf.* 1980. P. 1057—1061.
- [6] Коротков В. П., Омаров М. А., Стамкулов А. А., Таурбаев Т. И., Хренов Л. Л. // *Оптико-механическая промышленность.* 1985. № 9. С. 49—51.
- [7] Nakamura T., Kiyohashi K., Suzuki H. // *Sol. St. Electron.* 1979. V. 22. N 7. P. 639—644.

Казахский государственный университет  
им. Аль-Фараби  
Алма-Ата

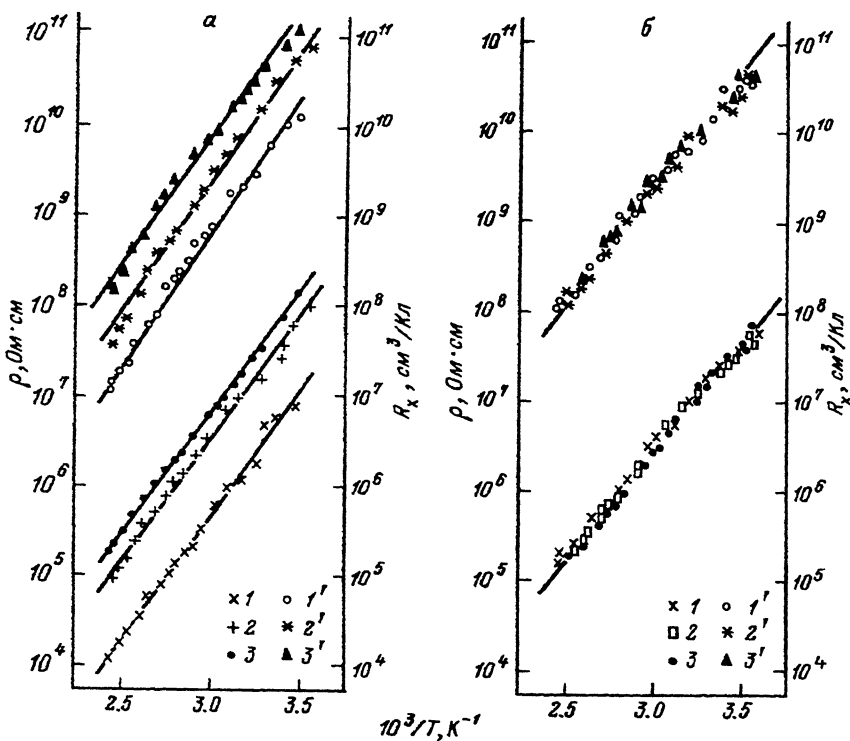
Получено 17.06.1991  
Принято к печати 21.01.1992

*ФТП, том 26, вып. 6, 1992*

### ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ В ПОЛУИЗОЛИРУЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ GaAs И InP ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ АРГОНА

Павлов П. В., Демидов Е. С., Карзанов В. В.

Известно [1], что полуизолирующие полупроводниковые материалы  $A^{III}B^V$  получают путем легирования их глубокими примесями. В случае арсенида галлия обычно используют для этого хром, а в случае фосфида индия — железо. Важной технологической проблемой здесь является получение слитков с однородным распределением электрофизических параметров (проводимость, концентрация



Температурные зависимости  $\rho$  (1—3) и  $R_H$  (1'—3') для трех образцов InP (ФИП-6), вырезанных из одной пластины.

$\alpha$  — до облучения,  $\beta$  — после облучения ионами  $\text{Ag}^+$ .  $\Phi = 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $j = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

носителей заряда, их подвижность). В процессе выращивания слитков это достигается с большими трудностями, что приводит к значительному удорожанию материала.

В настоящей работе представлены экспериментальные данные, свидетельствующие о возможности улучшения однородности монокристаллов из уже выращенных слитков полупроводящих GaAs и InP при облучении их ионами аргона. Исследовались температурные зависимости постоянной Холла  $R_H$  и удельного сопротивления  $\rho$  на полупроводящих образцах GaAs и InP нескольких промышленных марок. Образцы размерами  $5 \times 10 \text{ мм}$  вырезались из разных участков пластины соответствующего материала. Пластины были ориентированы в плоскости (100) и имели толщину 500—700 мкм. При этом наблюдался разброс измеряемых параметров от образца к образцу, что связано, по-видимому, с неоднородным распределением примесей в исходных пластинах. Наибольшие различия наблюдались нами для образцов GaAs марок АГП-1, АГП-2 и образцов InP марки ФИП-6 (см. таблицу и рисунок).

Облучение исследуемых монокристаллов производилось ионами аргона с энергией 40 кэВ. В результате наблюдалось выравнивание электрических свойств образцов, вырезанных из одной пластины. Эти данные представлены в таблице (для GaAs) и на рисунке (для InP).

В данном эксперименте облучению подвергалась сторона, противоположная той, где находились измерительные контакты. Режим облучения был следующий: доза  $\Phi = 10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , плотность ионного потока  $j = 10^{13} - 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Для исключения перегрева образцов под ионным пучком они приклеивались к массивной стальной мишени индий-галлиевой пастой; контрольные измерения

Влияние бомбардировки ионами аргона с энергией 40 кэВ на электрофизические параметры полупроводящего арсенида галлия (измерения при 400 К)

До облучения			$\Phi$ , см <sup>-2</sup>	$j$ , см <sup>-2</sup> · с <sup>-1</sup>	После облучения		
$\rho$ , Ом · см	$R_{\text{Х}}$ , см <sup>3</sup> /Кл <sup>-1</sup>	$\mu_{\text{Х}}$ , см <sup>2</sup> /В · с			$\rho$ , Ом · см	$R_{\text{Х}}$ , см <sup>3</sup> /Кл	$\mu_{\text{Х}}$ , см <sup>2</sup> /В · с
АГП-1							
$7.9 \cdot 10^5$	$8.5 \cdot 10^8$	1100	$10^{16}$	$5 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^5$	$10^9$	1700
$3.7 \cdot 10^5$	$3.7 \cdot 10^8$	1100	$10^{16}$	$5 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^5$	$4.5 \cdot 10^8$	1100
$7.9 \cdot 10^5$	$8.5 \cdot 10^8$	1100	$10^{16}$	$10^{14}$	$5.6 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^9$	2500
$6.2 \cdot 10^5$	$6.4 \cdot 10^8$	1000	$10^{16}$	$10^{14}$	$4 \cdot 10^5$	$6.3 \cdot 10^8$	1600
$2.8 \cdot 10^5$	$8.5 \cdot 10^7$	340	$10^{17}$	$5 \cdot 10^{13}$	$5.2 \cdot 10^5$	$6.8 \cdot 10^8$	1600
$5 \cdot 10^5$	$5.5 \cdot 10^8$	1100	$10^{17}$	$5 \cdot 10^{13}$	$5.4 \cdot 10^5$	$9.2 \cdot 10^8$	1700
$6.3 \cdot 10^5$	$6.3 \cdot 10^8$	1000	$10^{17}$	$10^{14}$	$4.4 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^9$	2900
$1.8 \cdot 10^5$	$1.6 \cdot 10^8$	830	$10^{17}$	$10^{14}$	$5 \cdot 10^5$	$1.4 \cdot 10^9$	2800
АГП-2							
$4 \cdot 10^5$	$7.9 \cdot 10^8$	2000	$10^{17}$	$10^{14}$	$2.8 \cdot 10^5$	$1.5 \cdot 10^9$	5300
$3.2 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^8$	2200	$10^{17}$	$10^{14}$	$2.8 \cdot 10^5$	$1.4 \cdot 10^9$	5000
АГПМ-3							
$2.9 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^8$	850	$10^{17}$	$10^{14}$	$4 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^8$	2000
$2.8 \cdot 10^5$	$3.4 \cdot 10^8$	1200	$10^{17}$	$10^{14}$	$4.8 \cdot 10^5$	$1.9 \cdot 10^9$	2500
АГЧПК-4							
$1.8 \cdot 10^5$	$7.1 \cdot 10^8$	3900	$10^{17}$	$10^{14}$	$1.7 \cdot 10^5$	$9.3 \cdot 10^8$	5000
$1.1 \cdot 10^5$	$4.1 \cdot 10^8$	3800	$10^{17}$	$10^{14}$	$2.1 \cdot 10^5$	$8.5 \cdot 10^8$	4000

показали, что в этом случае температура облучаемых кристаллов не превышала 50 °С. После ионной бомбардировки с облученной стороны удалялся слой ~ 20 мкм.

Установлено, что эффект выравнивания свойств образцов в результате ионного облучения усиливается с ростом дозы и интенсивности бомбардировки. Методом последовательного стравливания слоев обнаружено, что электрические параметры облученных образцов практически не зависят от глубины. Следует отметить, что для GaAs, кроме улучшения однородности, в ряде случаев наблюдалось повышение холловской подвижности электронов: от  $1000 \div 1500$  до  $3000 \div 5000$  см<sup>2</sup>/В · с (см. таблицу).

Наблюдаемый эффект мы связываем с растворением дефектно-примесных скоплений и пространственным перераспределением электрически активных дефектов в объеме образцов в результате дальнего действия влияния ионной бомбардировки подобно тому, как это уже наблюдалось в кремнии и германии [2, 3]. Предполагается, что такие изменения обусловлены взаимодействием упругих волн, генерируемых при ионном внедрении, с системой дефектов кристалла [4, 5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Clerjaud B. // Semi-Insulat. III—V Mater. Proc V Conf. Malmö. 1—3 June. 1988. Bristol—Philadelphia, 1988. С. 303—310.
- [2] Зорин Е. И., Лисенкова Н. В., Павлов П. В., Питиримова Е. А., Тетельбаум Д. И. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 904—910.
- [3] Куземченко Т. А. // Автореф. канд. дис. М., 1989.
- [4] Павлов П. В., Семин Ю. А., Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 3. С. 503—507.
- [5] Семин Ю. А., Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И. // Письма ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273—276.

Нижегородский исследовательский  
физико-технический институт

Получено 22.01.1991  
Принято к печати 11.02.1992