

2. Брудный, В.Н. Модель самокомпенсации и стабилизация уровня Ферми в облученных полупроводниках // В.Н. Брудный, Н.Г. Колин, Л.С. Смирнов // ФТП. – 2007. – Т. 41, № 9. – С. 1031–1040.
3. Поклонский, Н.А. Расчет электрической емкости самокомпенсированных полупроводников с межцентровыми прыжками одного и двух электронов (на примере кремния с радиационными дефектами) / Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, А.Г. Забродский // ФТП. – 2008. – Т. 42, № 12. – С. 1420–1425.
4. Ржевкин, К.С. Физические принципы действия полупроводниковых приборов / К.С. Ржевкин. – М. : МГУ, 1986. – 256 с.
5. Аномальные зависимости барьерной емкости диода от напряжения смещения и температуры / В.И. Мурыгин [и др.] // ФТП. – 2007. – Т. 41, № 10. – С. 1207–1213.

## ВЛИЯНИЕ ИЗОВАЛЕНТНОЙ ПРИМЕСИ КРЕМНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ И ОТЖИГ КОМПЛЕКСА ДОНОР – ВАКАНСИЯ В ГЕРМАНИИ

Ю. М. Покотило, А. Н. Петух

---

*Белорусский государственный университет, Pokotilo@bsu.by*

Наиболее эффективным методом для повышения быстродействия приборов микроэлектроники является легирование кремния германием, обладающим более высокой подвижностью. Германий образует непрерывный ряд твердых растворов с кремнием. Настоящая работа посвящена исследованию влияния примеси Si на электрофизические свойства твердых растворов GeSi.

Исследования были проведены на образцах твердых растворов  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$  ( $x = 0,99$ ), выращенных модифицированным методом Чохральского с низким ( $< 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) содержанием кислорода. Для сравнения использовались также кристаллы чистого германия. Кристаллы  $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$  были легированы фосфором, а кристаллы Ge сурьмой. Удельное сопротивление обоих типов кристаллов  $\rho \approx 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ . Для измерений нестационарной емкостной спектроскопии были изготовлены диоды Шоттки путем напыления золота через маску на полированную поверхность кристаллов. Толщина слоя золота составляла 200 нм. Образцы  $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$  были имплантированы ионами водорода, а Ge облучены быстрыми электронами с энергией 6 МэВ дозой  $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ . Параметры радиационных дефектов определялись из измерений нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (*DLTS*).

На рисунке 1 представлены спектры *DLTS* для  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$  ( $x = 0,99$ ) (1) и Ge (2) при одинаковых значениях окон регистрации  $t_r = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ .

Из анализа полученных данных следует, что максимумы пиков *DLTS* в основном практически совпадают, а самых высокотемпературных существенно отличаются. Измерения спектров при различных значениях окон регистрации позволили из смещения максимумов пиков на основе зависимостей Аррениуса определить энергию  $\Delta E$  и сечение  $\sigma$  ионизации радиационных дефектов для обоих типов образцов. Данные приведены в таблице.

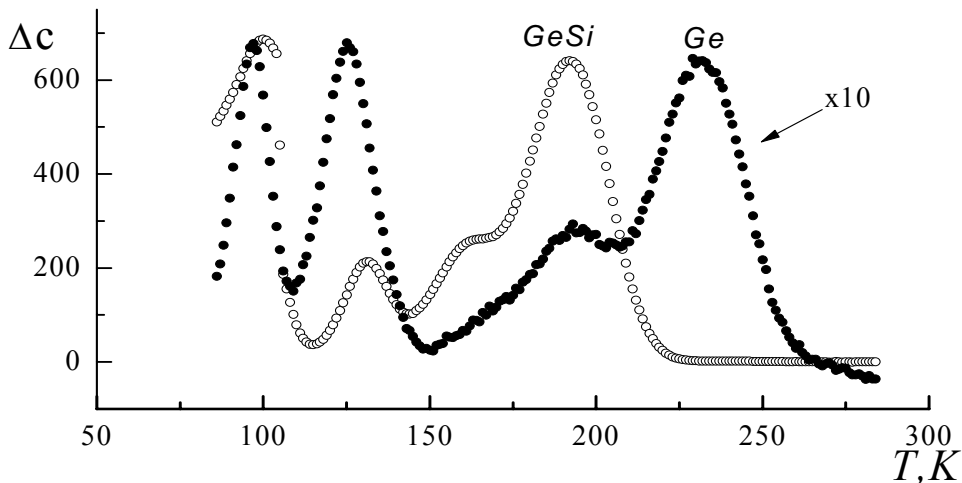


Рисунок 1 – Спектры DLTS для  $Ge_xSi_{1-x}$  ( $x = 0,99$ ) и Ge при одинаковых значениях окон регистрации  $t_r = 2 \cdot 10^{-4}$  с.

Таблица

**Параметры радиационных дефектов в  $Ge_xSi_{1-x}$  ( $x = 0,99$ ), облученном электронами, и Ge, имплантированного ионами водорода**

Тип образца	Пик I		Пик II		Пик III		Пик IV	
	$E_I$ , эВ	$\sigma$ , $10^{-14}$ , см <sup>2</sup>	$E_{II}$ , эВ	$\sigma$ , $10^{-14}$ , см <sup>2</sup>	$E_{III}$ , эВ	$\sigma$ , $10^{-14}$ , см <sup>2</sup>	$E_{IV}$ , эВ	$\sigma$ , $10^{-14}$ , см <sup>2</sup>
Ge электроны	0,4	6,6	0,32	6,6	0,22	1,1	0,15	1,5
$Ge_{1-x}Si_x$ ионы водорода	0,3	1,6	0,21	0,042	0,22	3,8	0,15	0,015

На рисунке 2 представлены данные изохронного отжига  $E$ -центра. Из анализа полученных результатов следует, что примесь кремния существенно влияет на механизм отжига  $E$ -центра. Таким образом, существенное различие параметров дефекта  $E_I$  может быть связано с примесью Si или водорода внедренного в  $Ge_{1-x}Si_x$  при имплантации. Однако анализ литературных данных [1] позволил установить, что дефект  $E_I$  является комплексом донор-вакансия, так называемым  $E$ -центром, энергия ионизации которого зависит от природы атома донора. Действительно, согласно [2], энергия ионизации комплекса  $V-P$  составляет  $E_I = 0,293$  эВ, а  $V-Sb - E_I = 0,38$  эВ.

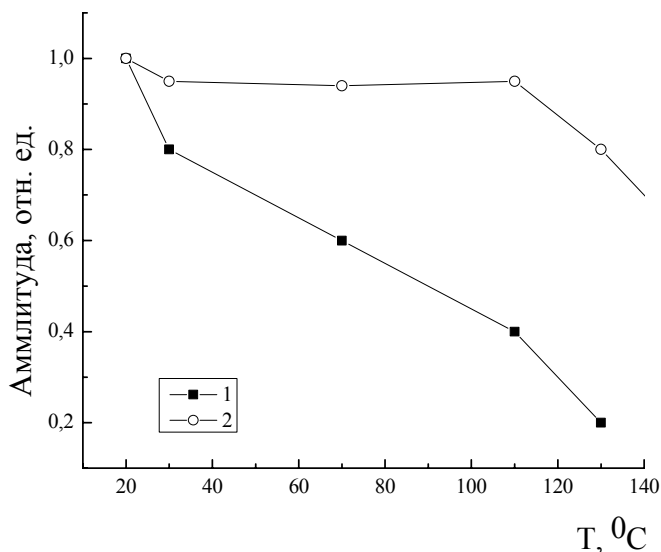


Рисунок 2. — Изохронный отжиг (20 мин.)  $E$ -центра в GeSi (1) и Ge (2)

Следовательно, на основании проведенных исследований можно заключить, что примесь кремния и внедренные при имплантации атомы водорода влияют на параметры отжига  $E$ -центра, смещая стадию изохронного отжига от 110 °C в чистом германии до 30 °C в твердых растворах  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$  ( $x = 0,99$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Peaker A.R., Markevich V.P., Hamilton B., Hawkins I.D., Slotte J., Kuitunen K., Tuomisto F., Satta A., Simoen E., Abrosimov N.V. Implantation defects and n-type doping in Ge and Ge rich SiGe // Thin Solid Films.- 2008.- Т.517.- p. 152-154.
2. Markevich V.P., Howkins I.D., Pieker A.R., Emtsev K.V., Litvinov V.V., Murin L.I., Dobaczewski L. Vacancy-group-V-impurity atom pairs in Ge crystals with doped P, As, Sb and Bi // Phys.Rev.B.- 2004.- 70.- p.235213.

### ЭВОЛЮЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОРОДА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

О. Ю. Смирнова, Г. Ф. Стельмах, Ю. М. Покотило, О. В. Королик,  
А. В. Мазаник, Ю. А. Кондратьева

*Белорусский государственный университет, Pokotilo@bsu.by*

Известно, что гидрогенизация кремния при обработке в водородной плазме приводит к формированию дефектов различного типа, существенно влияющих на электрофизические и оптические свойства [1]. В настоящей работе приведены результаты исследования водородосодержащих дефектов методом комбинационного рассеяния света (КРС).