

# ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ЭПИТАКСИАЛЬНОМ КРЕМНИИ

А.В. Гиро<sup>1)</sup>, Ю.М. Покотило<sup>1)</sup>, А.Н. Петух<sup>1)</sup>, А.С. Камышан<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет

пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь, тел. +375(17)2095534, e-mail: giro@bsu.by

<sup>2)</sup>НИИ ПФП им. А.Н. Савченко БГУ, ул. Курчатова, 7, 220108, Минск, Беларусь

Методом DLTS исследовалось влияние имплантированного водорода на отжиг точечных радиационных дефектов, генерируемых  $\gamma$ -облучением в эпитаксиальном кремнии. Для эксперимента использовались промышленные диоды Шоттки. Установлено, что внедренный водород не влияет на параметры отжига E-центров, однако существенно понижает температуру отжига центра V-O-H и приводит к появлению ярко выраженных отрицательных стадий отжига A-центров. Обсуждается механизм данного эффекта.

## Введение

Облучение пучками низкоэнергетических протонов является перспективным физико-технологическим методом модифицирования электрофизических параметров кристаллов кремния [1]. Одним из наиболее интересных свойств внедренного водорода является то, что при его взаимодействии с радиационными и собственными дефектами в процессе термообработки формируются мелкие доноры. Целью настоящей работы является исследование механизма взаимодействия водорода с точечными радиационными дефектами, генерированными последующим облучением  $\gamma$ -квантами.

## Основная часть

Исследования проводились на промышленных (Mo-Si) диодах Шоттки, где активным базовым слоем являлся эпитаксиальный кремний, легированный фосфором с удельным сопротивлением  $\rho=1,05$  и  $1,8$  Ом·см и толщиной 5 мкм. Облучение ионами атомарного водорода  $H^+$  с энергией 300 кэВ и  $\gamma$ -квантами  $^{60}Co$  осуществлялось при комнатной температуре с планарной стороны через многослойный (Ag-Ni-Mo) контакт. Параметры радиационных дефектов определялись методом DLTS [2] при отношении времен выборок  $t_2/t_1=5$  и частоте 1 МГц. Напряжение смещения переключалось в диапазоне (0÷5) В, что соответствовало глубине сканирования базового слоя  $X=(0,2\div 2,1)$  мкм. Термообработка проводилась в кварцевой трубе на воздухе.

На рис. 1 представлены спектры DLTS для образцов, облученных ионами водорода  $H^+$ (1),  $\gamma$ -квантами(2) и для образцов, облученных ионами  $H^+$  и  $\gamma$ -квантами. Доза облучения  $H^+$  составляла  $1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>, а  $\gamma$ -квантами –  $3,3 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>. Из рисунка видно, что во всех трёх случаях образуются одинаковые дефекты. Но следует заметить, что пики I и III четко совпадают для всех трех образцов, в то время как в области пика II наблюдается некоторое расхождение, что может быть связано с влиянием внедренного водорода.

Анализ спектров DLTS при различных окнах регистрации позволил нам из температурного смещения пиков на основании зависимостей

Аррениуса [2] определить параметры дефектов. Рассчитанные параметры РД представлены в таблице 1 (нумерация пиков идентична рис. 1).

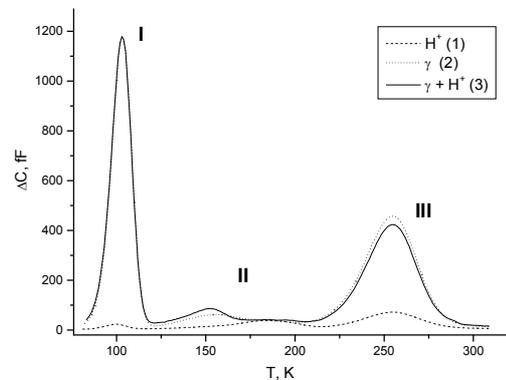


Рис. 1. Спектры DLTS эпитаксиального кремния, облученного протонами и  $\gamma$ -квантами

Сравнивая их с литературными данными [1,3], была произведена следующая идентификация дефектов. Пик I представляет собой A-центр (комплекс кислород-вакансия), пик II – V-O-H центр, III – E-центр (комплекс донор-вакансия). Следует отметить, что концентрация дефектов, образованных  $\gamma$ -квантами, значительно (более чем на порядок) превышает таковую для случая облучения протонами. На наш взгляд это связано с пассивацией оборванных связей атомарным водородом.

Таблица 1 - Рассчитанные параметры радиационных дефектов в кремнии, облученном ионами  $H^+$  и  $\gamma$ -квантами.

Номер пика	Энергия активации $\Delta E$ , эВ	Сечение захвата $\sigma$ , см <sup>-3</sup>	Идентификация дефекта
I	0,16	$1,6 \cdot 10^{-15}$	A-центр
II	0,31	$1,7 \cdot 10^{-15}$	центр V-O-H
III	0,44	$1,7 \cdot 10^{-15}$	E-центр

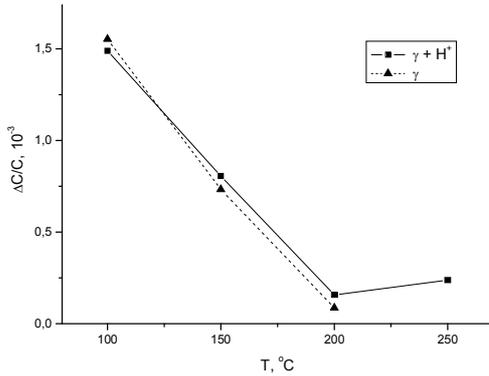


Рис. 2. а) Кривые отжига Е-центра.

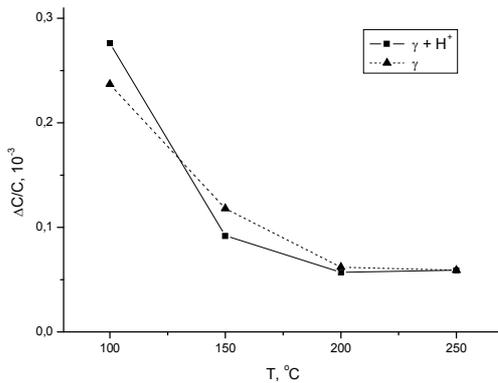


Рис. 2. б) Кривые отжига центра V-O-H.

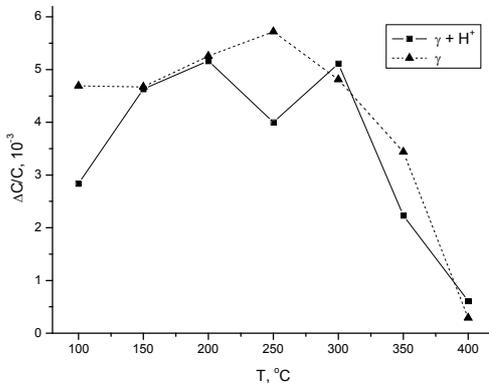


Рис. 2. в) Кривые отжига А-центра.

На рис. 2 представлены кривые изохронного (1 час) отжига наблюдаемых дефектов для случая облучения  $\gamma$ -квантами и облучения ионами  $H^+$  и  $\gamma$ -квантами. Видно, что Е-центр (а) отжигается при температуре 200 °С. Это совпадает с литературными данными, что подтверждает наше предположение о природе этого центра. Отжиг центра V-O-H (б) также происходит вблизи 200 °С, что несколько отличается от литературных данных и может быть связано с влиянием внедрённого водорода. В целом ход кривых отжига для этих центров совпадают для двух типов облучения. Отжиг А-центра (в) происходит вблизи 400 °С, что тоже совпадает с литературными данными. Однако характер этих зависимостей различен для  $\gamma$ - и комбинированного облучения. Действительно, для облучения  $\gamma + H^+$  наблюдается две ярко выраженные отрицательные стадии отжига (участки 100–200 °С и 250–300 °С). По нашему мнению это может быть связано с процессами формирования и распада комплекса V-O-H, который может образовываться в ходе термообработки путём захвата водорода А-центрами.

### Заключение

Было установлено, что облучение эпитаксиального кремния  $\gamma$ -квантами и протонами в целом приводит к образованию одинаковых радиационных дефектов, однако концентрация дефектов при облучении  $\gamma$ -квантами значительно выше, чем для протонного облучения. Также мы пришли к выводу, что присутствие водорода в решётке Si практически не сказывается на поведении Е-центра, однако существенно влияет на отжиг V-O-H и А-центра, что связано с процессами формирования и распада комплекса V-O-H.

### Список литературы

1. Козлов В.А., Козловский В.В. // ФТП. – 2001. – № 7. – С. 769.
2. Lang D. V. // J. Appl. Phys. – 1974. – 45. – 7. – P. 3023.
3. Brotherton S. D., Bradley P. // J. Appl. Phys. – 2000. – 53. – 8. – P. 5720.

## INFLUENCE OF HYDROGEN ON ANNEALING OF RADIATION DEFECTS IN EPITAXIAL SILICON

A.V.Giro<sup>1</sup>, Yu.M.Pokotilo<sup>1</sup>, A.N. Petukh<sup>1</sup>, A.S. Kamysan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University,

Nevsavisimosti av., 4, 220030, Minsk, Belarus, phone +375(17)2095534, e-mail: giro@bsu.by

<sup>2</sup>Institute of applied physics problems (BSU), Kurchatova str., 7, 220108, Minsk, Belarus

By means of DLTS we investigated influence of hydrogen on annealing of the point radiation defects generated by  $\gamma$ -irradiation in epitaxial silicon. Commercial Schottky diodes (Mo-Si) were used for experiments. The Schottky diodes were irradiated by hydrogen ions with energy of 300 keV and gamma rays of  $^{60}\text{Co}$  at room temperature. It was determined that the introduced hydrogen doesn't influence parameters of annealing of the E-centers; however it essentially modifies parameters of annealing the V-O-H (annealing temperature decreasing) and A-centers (negative phase of annealing). The origin of this effect is discussed.