



Влияние ионного облучения на структуру, оптические и электрофизические свойства пористого кремния



Д.А. РАДЕВА*), О.М. МАРЧЕНКО, А.Д. ШПОРИН, Ю.В. БАЛАКШИН, А.П. ЕВСЕЕВ, А.А. ШЕМУХИН
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА, МОСКВА, РОССИЯ

*) E-MAIL: RADEVA.DA16@PHYSICS.MSU.RU

ВВЕДЕНИЕ

Пористый кремний обладает целым рядом необычных свойств, обусловленных малостью поперечного размера его образований, несильно превышающих размеры элементарной ячейки.

В настоящее время появляется тенденция использования наночастиц кремния в нанoeлектронике и биомедицинских направлениях, чем обусловлена необходимость развития методик, которые дают модифицировать его физические свойства с высокой точностью и повторяемостью результата воздействия, например, с помощью ионно-пучковой инженерии дефектов. Дефекты, образующиеся при ионном облучении, изменяют электронные и оптические свойства материалов, которые впоследствии влияют на такие свойства, как поглощение света, люминесценция, перенос и разделение носителей заряда.

В данной работе исследовано влияние ионного облучения на структуру, оптические и электрофизические свойства пористого кремния. Исследованы особенности спектров комбинационного рассеяния, проведен расчет значений проводимости и характерных размеров образованных нанокристаллитов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперименты проводились на образцах кристаллического кремния и пористого кремния, приготовленных по технологии электрохимического анодного травления из пластин кремния с ориентацией (111).

Исследуемые образцы облучались на ускорителе ионов HVEE-500 ионами аргона с энергией 8 кэВ дозой 10^{15} ион/см² и 10^{14} ион/см².

Спектры комбинационного рассеяния фоонов, возбужденные твердотельным синим лазером с длиной волны 472.9 нм и выходной мощностью до 50 мВт при комнатной температуре снимались с помощью ЗНЛ ИНТЕГРА Спектра с компьютерной регистрацией в программе Nova. Полученные спектры обрабатывались в программе Origin.

Измерение сопротивления образцов проводилось двухзондовым методом мультиметром Keithley DMM6500. Для расчета проводимости проводилось моделирование эксперимента в COMSOL Multiphysics с вычислением геометрического коэффициента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На графиках представлены спектры КРС образца 90-4. Во всех случаях для пористого кремния спектры представляли собой единичную полосу с максимумом вблизи частоты 520-521 1/см. Для кристаллического кремния спектр представлял собой единичную полосу с максимумом вблизи частоты 521-522 1/см. При облучении пористого кремния наблюдается сдвиг КРС пика в сторону меньших энергий. В связи с этим согласно теории Cardona [1] данный эффект может быть связан с формированием нанокристаллитов кремния.

Чтобы получить реальные значения проводимости образцов кремния, нужно умножить снимаемую проводимость на полученный геометрический коэффициент.

Характерные размеры кристаллита: $d = 2\pi * (B/\Delta w)/10$ $d = 9.2$ нм

$$k_{exp} \frac{1}{M}$$
$$1163$$
$$\sigma = k/R$$

k - геометрический коэффициент

Рис. 3. Сдвиг пика КРС p-Si

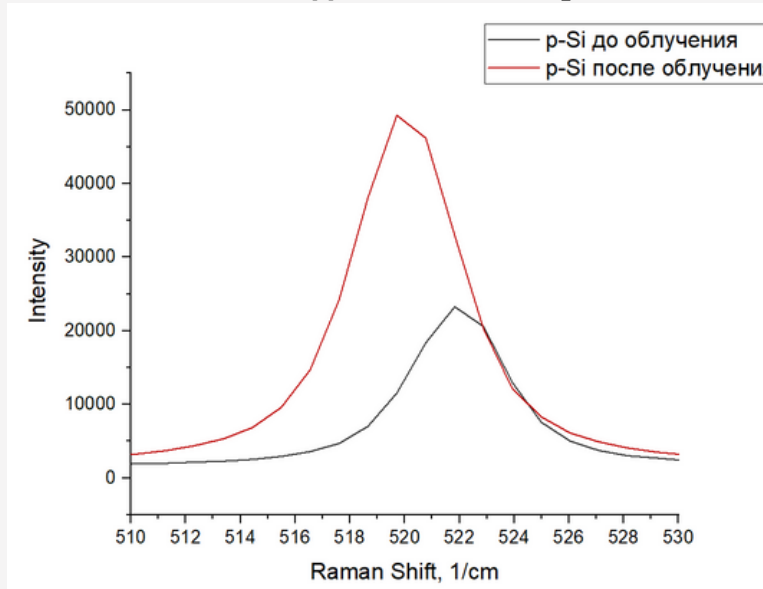


Рис. 4. Сдвиг пика КРС c-Si

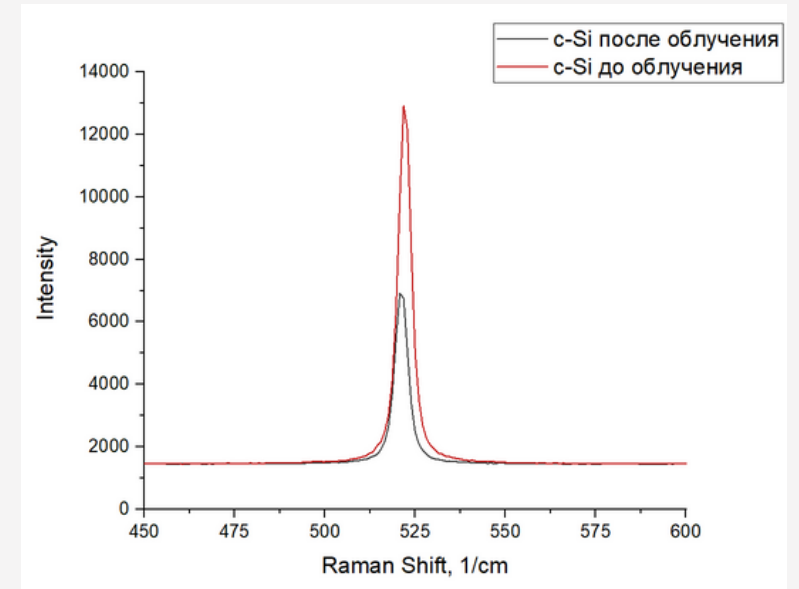


Рис. 5. Сдвиг пика КРС после облучения

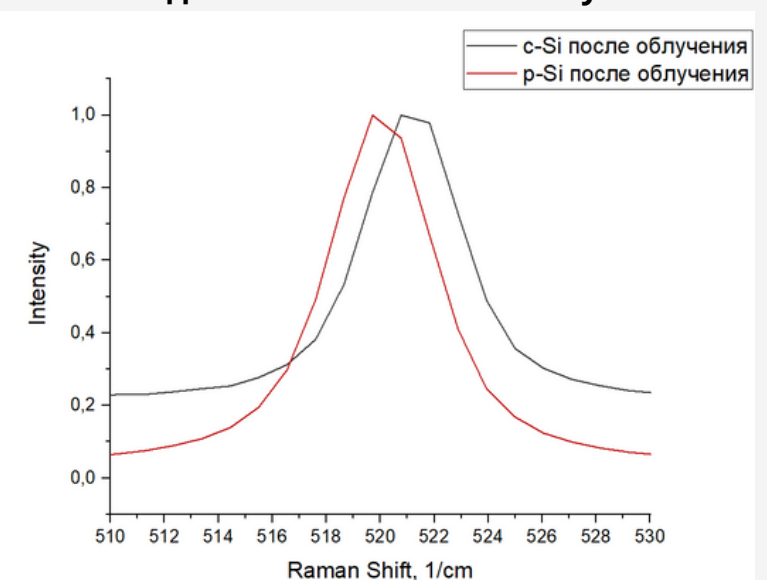


Таблица 1. значения проводимости образцов до облучения

$\sigma_{p-Si-2} \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma_{c-Si-4} \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma_{p-Si-4} \frac{1}{\text{Ом м}}$
0.0011	0.0121	0.0003

Таблица 2. значения проводимости образцов после облучения

$\sigma_{p-Si-2} \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma_{c-Si-4} \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma_{p-Si-4} \frac{1}{\text{Ом м}}$
0.0013	0.0128	0.0005

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для облученного образца пористого кремния наблюдается сдвиг пика комбинационного рассеяния в сторону меньших значений. Данный эффект может быть связан с формированием нанокристаллитов кремния, рассчитанный характерный размер которых 9.2 нм. Сдвиг пика в сторону меньших значений говорит о разупорядочении кристаллической структуры образца, которое предположительно связано с эффектом растяжения и деформацией в результате осаждения частиц аргона в порах на поверхности кремния.

2. Интенсивности рассеяния для образцов пористого кремния заметно превышают интенсивность рассеяния для образца из кристаллического кремния.

3. После облучения образцов кремния сопротивление уменьшилось, а проводимость увеличилась. В результате измерения сопротивления наблюдалось изменение сопротивления в зависимости от полярности подключения, что говорит о выраженной анизотропии кристаллов кремния. По изменению сопротивления можно судить об абсорбции газа, измерения проводились с азотом и метаном..

ЛИТЕРАТУРА

- [1] РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЕВ ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ-СЕРЕБРО, Р.С. СМЕРДОВ, Ю.М. СПИВАК, Материалы Международной научно-технической конференции, 20-24 ноября 2017 г.
- [2] Влияние ионного облучения на проводимость пленок кремния, К. Д. Кушкина, А. В. Назаров, А. А. Шемухин, А. П. Евсеев. Прикладная физика, 2017, № 2
- [3] Влияние параметров облучения ионами ксенона и аргона на дефектообразование в кремнии. Ю. В. Балакшин, А. В. Кожемяко, А. П. Евсеев, Д. К. Миннебаев, Emad M. Elshly, ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2020. № 3. С. 23-29.

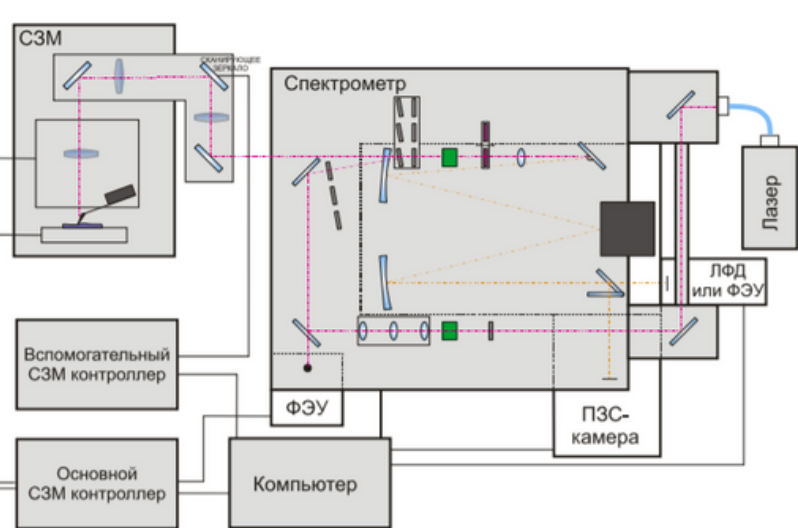


Рис. 1. Блок-схема ЗНЛ ИНТЕГРА Спектра

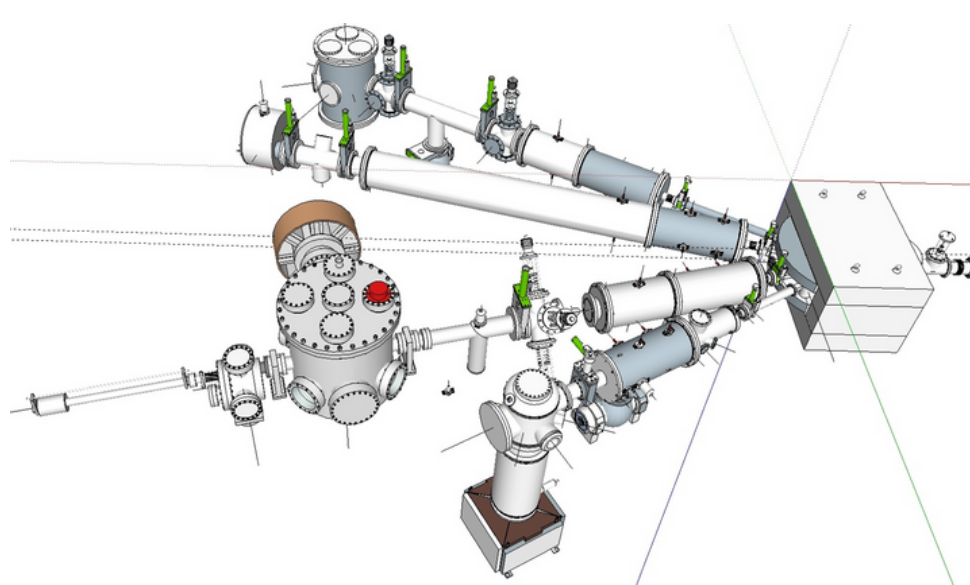


Рис. 2. Ускоритель ионов HVEE-500