

УДК 539.11

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ КДБ-10 (111)

В.К. Люев, И.В. Люев

ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет»
360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 175

Аннотация: Исследованы спектры поверхностной фото-ЭДС при температурах $T = 289 - 473$ К после обработки в 10% растворе HF . Показано, что удаление оксидного слоя приводит к уменьшению концентрации ПЭС, находящихся на границе раздела кремния с поверхностными пленками. Кроме того, меняется концентрация электронных состояний в самих пленках. Обработка в HF и последующая промывка водой уменьшают концентрацию ловушек, захватывающих неравновесные дырки, что деформирует фотопамять поверхностного потенциала.

Ключевые слова: поверхностный потенциал, монокристаллический кремний, КДБ-10.

Исследованы спектры поверхностной фото-ЭДС $p-Si$ при температурах $289 - 473$ К после обработки в 10% растворе HF . О наблюдении поверхностной фото-ЭДС сообщалось в работах [1, 2]. В работах [3, 4] были обнаружены уровни 0,80; 0,70; 0,64; 0,60 и 0,50 эВ от края валентной зоны. Эти уровни в различных комбинациях наблюдались при различных обработках поверхности образца, и был сделан вывод, что энергетическое положение поверхностных состояний практически не зависит от способа обработки поверхности. Этот вывод, однако, не может считаться достаточно достоверным, так как при исследовании каждого образца, как правило, удавалось обнаружить лишь некоторые из этих уровней. В данной работе была исследована поверхность после обработки, в результате чего было обнаружено изменение энергетического положения поверхностных состояний.

В настоящей работе исследования поверхностной фото-ЭДС проводились на высокоомном кремнии p -типа (с удельным сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), на поверхности [111] при $T = 289 - 473$ К. Кристалл вырезался по направлению [111], размеры образца после стандартной обработки шлифовка, полировка составляли $20 \times 5 \times 5$ мм. Исследование поверхности кремния до и после химической обработки в травителе $SiO_2(1HF:10H_2O)$ проводились по стандартной методике. Измерения поверхностной фото-ЭДС полученные в результате эксперимента приведены в Таблицах 1 и 2.

На рис. 1 представлены температурные зависимости поверхностного потенциала при облучении образца белым светом и светом с длинами волн 510 и 550 нм. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что при

повышении температуры поверхностный потенциал уменьшается по экспоненциальному закону. Причем при нагревании образца до 373 К поверхностный потенциал уменьшается в 5 раз, при дальнейшем нагревании до 473 К происходит плавный спад значений поверхностного потенциала. Замечено, что на реальной поверхности поверхностный потенциал самый большой при облучении белым светом. Облучение образца монохроматическим светом с различными длинами волн показало, что величина поверхностного потенциала падает с увеличением длины волны.

Таблица 1. Поверхностный потенциал монокристаллического кремния (КДБ–10) обработанного травителем (10% HF), измеренный при различных значениях температуры, и длины волны падающего света.

Температура T, K	Поверхностный потенциал $\varphi(B)$			
	$\lambda = 400$ нм	$\lambda = 510$ нм	$\lambda = 550$ нм	$\lambda = 480$ нм
293	$0,008 \pm 0,023$	$0,08 \pm 0,014$	$0,012 \pm 0,023$	$0,016 \pm 0,032$
313	–	$0,07 \pm 0,013$	$0,008 \pm 0,023$	–
333	–	$0,045 \pm 0,008$	$0,004 \pm 0,0007$	–
353	–	$0,03 \pm 0,007$	–	–
373	–	$0,02 \pm 0,004$	–	–
393	–	$0,018 \pm 0,004$	–	–
413	–	$0,015 \pm 0,003$	–	–
433	–	$0,008 \pm 0,0001$	–	–
453	–	$0,007 \pm 0,0001$	–	–
473	–	$0,004 \pm 0,0007$	–	–

Продолжение Таблицы 1.

Температура T, K	Поверхностный потенциал $\varphi(B)$		
	$\lambda = 610-620$ нм	$\lambda = 690$ нм	Белый свет
293	$0,004 \pm 0,0007$	$0,008 \pm 0,023$	$0,095 \pm 0,016$
313	–	–	$0,08 \pm 0,014$
333	–	–	$0,05 \pm 0,01$
353	–	–	$0,035 \pm 0,005$
373	–	–	$0,025 \pm 0,004$
393	–	–	$0,02 \pm 0,004$
413	–	–	$0,015 \pm 0,003$
433	–	–	$0,01 \pm 0,003$
453	–	–	$0,008 \pm 0,0001$
473	–	–	$0,005 \pm 0,0008$

С целью проверки воспроизводимости результатов измерений поверхностного потенциала были проведены эксперименты при понижении температуры от 473 К до комнатной. Оказалось, что значения поверхностного потенциала при понижении температуры лежат гораздо ниже, при этом поверхностный потенциал практически не изменяется вплоть до 353 К. При дальнейшем понижении температуры происходит незначительный рост поверхностного потенциала по линейному закону.

Таблица 2. Поверхностный потенциал монокристаллического кремния (КДБ-10) обработанного травителем (10% *HF*), измеренный в обратном направлении.

Температура T , К	Поверхностный потенциал $\varphi(V)$	
	$\lambda = 510$ нм	Белый свет
293	$0,016 \pm 0,032$	$0,016 \pm 0,032$
313	$0,012 \pm 0,023$	$0,012 \pm 0,023$
333	$0,01 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,03$
353	$0,008 \pm 0,002$	$0,008 \pm 0,002$
373	$0,006 \pm 0,001$	$0,006 \pm 0,001$
393	$0,004 \pm 0,0007$	$0,004 \pm 0,0007$
413	$0,008 \pm 0,002$	$0,008 \pm 0,002$
433	$0,007 \pm 0,001$	$0,007 \pm 0,001$
453	$0,006 \pm 0,001$	$0,006 \pm 0,001$
473	$0,004 \pm 0,0007$	$0,005 \pm 0,0008$

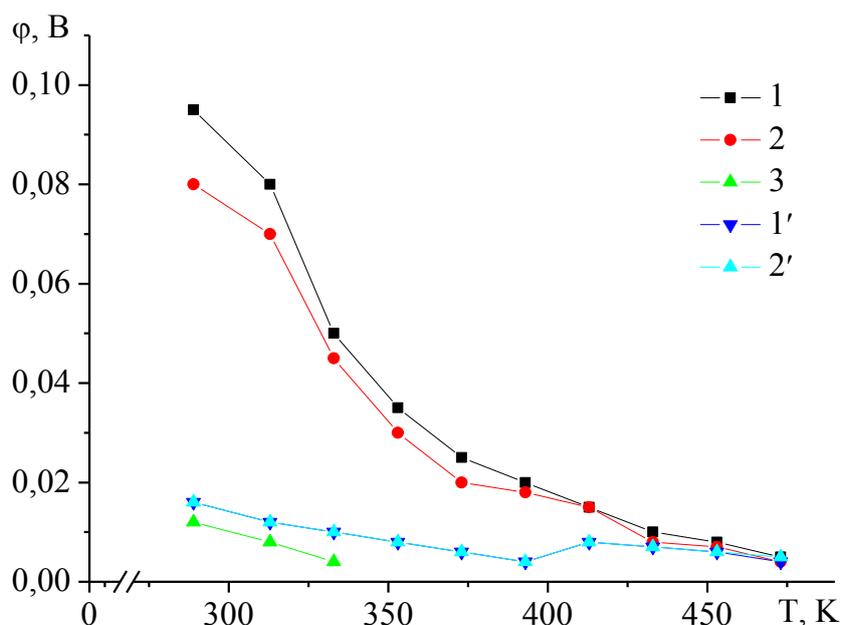


Рис. 1. Зависимость поверхностного потенциала φ от температуры T (1, 2, 3 – при нагревании, 1', 2' – при охлаждении), для белого света, 510, 550 нм соответственно.

Результаты измерения поверхностного потенциала на реальной поверхности монокристалла свидетельствует о том, что обработка в 10% растворе HF , удаляющая оксидный слой, приводит к уменьшению концентрации ПЭС, находящихся на границе раздела кремния с поверхностными пленками. Кроме того, меняется концентрация электронных состояний в самих пленках. Обработка в HF и последующая промывка водой уменьшает концентрацию ловушек, захватывающих неравновесные дырки, что формирует фотопамять поверхностного потенциала. Зависимость $\varphi_s(T)$, полученная при охлаждении, показывает, что поверхностный потенциал практически не измеряется. На наш взгляд это связано с тем, что нагрев приводит к десорбции газов с очищенной поверхности, вследствие чего не происходит значительной перестройки ПЭС в поверхностном слое.

Библиографический список:

1. **Остроумова, Е.В.** Спектры поверхностных состояний в кремнии p -типа / Е.В. Остроумова // Физика и техника полупроводников. – 1975. – Т. 9. – № 8. – С. 1503-1506.
2. **Бедный, Б.И.** Исследование поверхностной фотоэдс в CdSnP_2 приповерхностном легировании / Б.И. Бедный, А.Н. Калинин, И.А. Карпович, В.В. Подольский // Известия ВУЗов. Физика. – 1980. – № 7. – С. 115-116.
3. **Литовченко, В.Г.** Влияние внешнего электрического поля на фотопроводимость «чистого» кремния в инфракрасной области / В.Г. Литовченко, В.П. Ковбасюк // Украинский физический журнал. – 1967. – Т. 12. – № 3. – С. 403-412.
4. **Литовченко, В.Г.** О критерии «сильного легирования» для центров, дающих глубокие уровни, и характере спектра быстрых поверхностных ловушек кремния / В.Г. Литовченко, В.П. Ковбасюк // Физика и техника полупроводников. – 1969. – Т. 3. – Вып. 6. – С. 870-873.