

Оптические свойства нанокристаллического кремния и карбида кремния

Н.В. Латухина^а, Д.А. Лизункова^а, В.И. Чепурнов^а, В.Д. Паранин^а

^а Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

Аннотация

Пористый кремний обладает широким набором уникальных свойств и является перспективным материалом для фотоприемников нового поколения. Благодаря развитой системе пор площадь поглощающей поверхности увеличивается, а спектральная чувствительность расширяется в коротковолновую область за счет увеличения ширины запрещенной зоны кремния в наноразмерных кремниевых нитях, образующих стенки пор. Карбидизация поверхностного слоя пористого кремния делает поглощение еще более эффективным. При этом спектр поглощения ФЭП расширяется в коротковолновую область не только за счет квантово-размерного увеличения ширины запрещенной зоны кремния в нанокристаллах, но и за счет поглощения в широкозонном материале высокоэнергичных фотонов. В данной работе приведены результаты исследования спектральных характеристик фотолуминесцентных структур, коэффициентов отражения структур со слоем пористого кремния.

Ключевые слова: пористый кремний; фотолуминесценция; редкоземельные элементы; фотоэлектрические преобразователи; карбид кремния; коэффициент отражения

1. Введение

Использование пористого кремния как чувствительного слоя в многослойных гетероструктурах кремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) позволяет значительно увеличить эффективность преобразования энергии [1]. Перспективным чувствительным слоем ФЭП является слой с нанокристаллами кремния, а также слой широкозонных материалов. При этом спектр поглощения ФЭП расширяется в коротковолновую область за счет квантово-размерного увеличения ширины запрещенной зоны кремния в нанокристаллах и за счет поглощения в широкозонном материале высокоэнергичных фотонов. Эффективной системой нанокристаллов кремния может быть слой пористого кремния (ПК), так как стенки пор представляют собой неупорядоченную систему квантовых ям, нитей и квантовых точек [2]. Кроме того, благодаря развитой системе пор площадь поглощающей поверхности фотоприемника значительно увеличивается. Однако ряд существующих проблем препятствует использованию пористого кремния в ФЭП. Это низкая воспроизводимость результатов из-за неконтролируемых факторов технологического процесса, нестабильность параметров ПК из-за остающегося в его порах реактива, а также его высокое электрическое сопротивление. Решением этих проблем может быть создание пористого слоя локально на поверхности с затравками порообразования, а также использование стабилизирующего покрытия, в качестве которого может выступать широкозонный полупроводник карбид кремния. Целью данной работы было исследование фотоэлектрических свойств образцов многослойных фоточувствительных структур с локально созданным на рабочей поверхности пористым слоем и стабилизирующим покрытием из карбида кремния. Пористый слой создавался на кремниевых подложках с текстурированной и шлифованной поверхностями. Затравками порообразования на шлифованной и текстурированной поверхности служат углубления микрорельефа, где напряженность электрического поля максимальна, поэтому пористый слой на таких поверхностях образуется локально [3]. Образцы с полированной поверхностью выполняли роль контрольных. На поверхности пористого слоя создавался эпитаксиальный слой карбида кремния, так что в результате образцы представляли собой гетероструктуры Si/SiC с большой площадью поглощающей поверхности

2. Методика эксперимента

Для создания пористого слоя пластины кремния подвергались электрохимическому травлению в ячейке вертикального типа в водно-спиртовых растворах плавиковой кислоты.

Карбидизация образцов, приводящая к образованию гетероструктур SiC/Si, проведена методом газотранспортной эндотаксии в потоке водорода в вертикальном реакторе с холодными стенками с использованием графитового контейнера [4].

Фотоэлектрические измерения включали в себя измерение коэффициента зеркального отражения, фоточувствительности и фотолуминесценции структур.

Спектры фотолуминесценции измерялись при возбуждении ультрафиолетовым (330 нм) лазером при комнатной температуре для образцов с пористым слоем, легированным редкоземельными элементами (РЗЭ) эрбием или иттербием.

Спектральные зависимости коэффициентов отражения исследовались на спектрофотометре Shimadzu UV-2450 с приставкой 206-14046. Диапазон измерения составил 0,3 - 1 мкм, шаг измерения и спектральная ширина щели монохроматора – 2 нм, скорость сканирования – медленная. Угол падения излучения, имеющего эллиптическую поляризацию около 3:1 – 4:1, был равен 5° при апертуре не более ±5°. Приемником излучения спектрофотометра Shimadzu UV-2450 является фотоэлектронный умножитель. Это обуславливает значительные шумы измерения прибора в ближней инфракрасной области.

3. Морфология

На рис. 1 приведены РЭМ - изображения поперечных сколов образцов с пористым слоем, сформированным на шлифованной (а) и текстурированной (б) поверхностях. Образец с текстурированной поверхностью прошел карбидизацию, в результате которой в некоторых областях поверхности образовались нанонити углерода, отчетливо видимые на сколе. Толщина пористого слоя для этого образца составила 12,55 мкм.

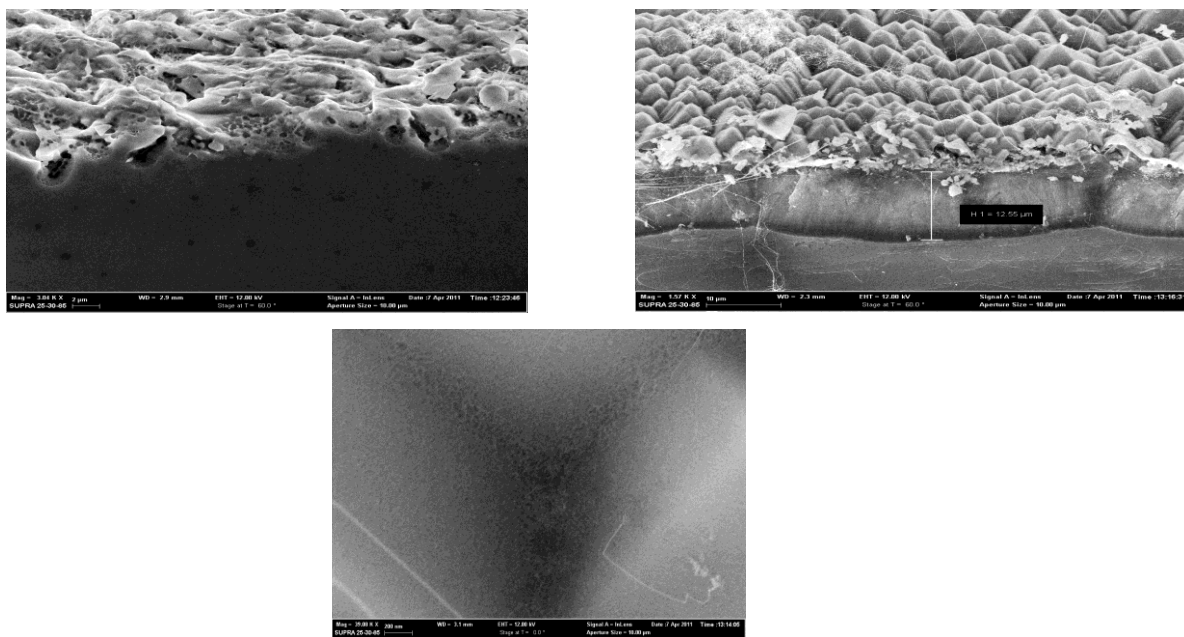


Рис.1. РЭМ – изображения поперечных сколов образцов с пористым слоем: а) пористый слой сформирован на шлифованной поверхности; б) пористый слой сформирован на текстурированной поверхности в) изображение текстурированной поверхности в области стыка пирамид, где сформировался пористый слой.

4. Спектральные зависимости коэффициента отражения

Спектральные зависимости коэффициентов отражения исследовались на спектрофотометре SHIMADZU UV-2450PC в диапазоне длин волн от 0.3 до 1 мкм на разных типах рабочей поверхности образцов. В измерительную группу попали образцы с пористой поверхностью (прошедшие электрохимическое травление), а также образцы, прошедшие карбидизацию. В качестве тестовых образцов использовались пластины кремния марки КДБ-3 с текстурированной, шлифованной или полированной поверхностями без пор.

Из графиков видно, что образование пористого слоя заметно уменьшает коэффициент отражения. Для образцов с небольшим временем травления ход кривых спектральных зависимостей остается почти неизменным, что объясняется локальным характером образования пор. При времени травления больше 15 мин. Локальность травления нарушается, рельеф сглаживается, и ход кривых спектральных зависимостей изменяется как у обоих образцов.

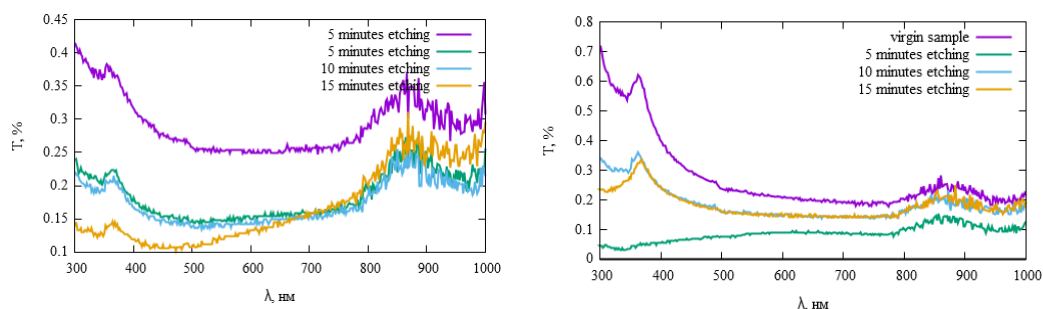


Рис.2. Спектральные зависимости коэффициентов отражения образцов с пористым слоем, образованном при разном времени травления на шлифованной (а) и текстурированной поверхностях (б).

5. Спектральные зависимости фотолюминесценции

На рис. 3 отчетливо видны узкие пики спектральных максимумов излучения иттербия при 980 нм и излучения эрбия при 1550 нм, Поскольку механизм фотолюминесценции ионов РЗЭ основан на рекомбинации экситона, генерированного излучением в нанокристалле кремния, наличие пиков ФЛ иттербия и эрбия в спектрах исследуемых образцов подтверждает наличие в пористых слоях достаточно большой концентрации нанокристаллов. На рис. видна также широкая полоса 550 – 750 нм, соответствующая спектру излучения кремниевых нанокристаллов, а также пик лазерной накачки при 370 нм.

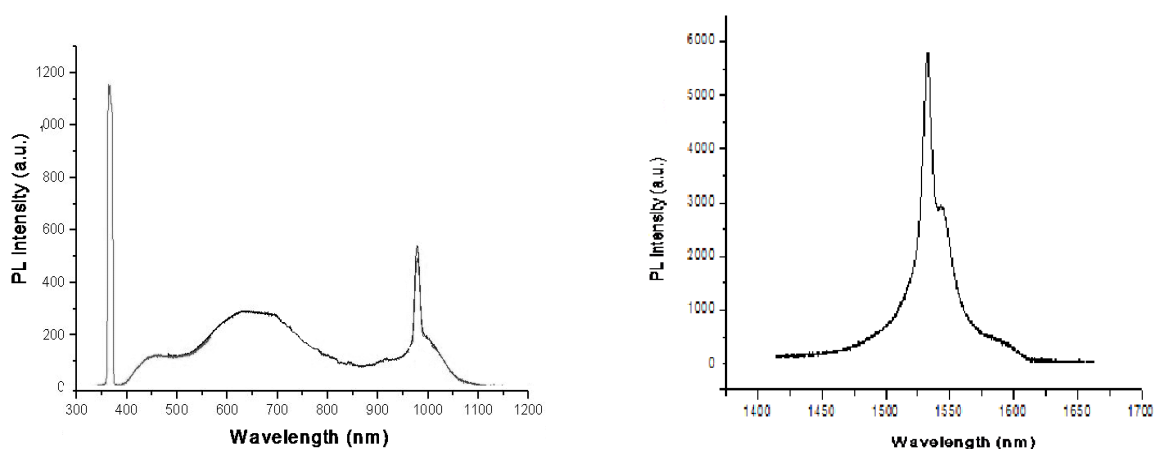


Рис.3. Спектры фотолюминесценции образцов со слоем пористого кремния, образованного на текстурированной поверхности: а) легированного иттербием; б) легированного эрбием.

6. Заключение

Таким образом, проведенные исследования показывают, что пористый кремний, созданный на текстурированной или шлифованной поверхности, представляет собой эффективную систему нанокристаллов. Его применение в ФЭП позволяет значительно увеличить долю поглощаемого излучения в спектральном диапазоне 400 -1000 нм и увеличить фототок.

Литература

- [1] Latukhina, N.V. et al. Efficient silicon solar cells for space and ground-based aircraft // *Procedia Engineering*. – 2015.- Vol. 104. -p. 157-161
- [2] Латухина, Н.В., Чепурнов, В.И., Писаренко, Г.А.. Новые перспективы старых материалов: кремний и карбид кремния/ Н.В. Латухина, В.И. Чепурнов, Г. А. Писаренко // *Электроника НТБ*. – 2013. - №4 (00126) - с.104-110.
- [3] Соколов, В.И., Шельх, А.И.. Некоторые характеристики пористого кремния (отражение, рассеяние, показатель преломления, микротвердость)/ В.И. Соколов, А.И. Шельх. // *Письма в ЖТФ*. -2008 – Т.34, № 5. – с. 34-39.
- [4] Латухина, Н.В. и др. Фоточувствительные гетероструктуры на основе пористого нанокристаллического кремния/ Н.В. Латухина и др. // *Известия вузов. Материалы электронной техники*. – 2014. – Т.17, №4. – с. 284-289. DOI: 10.17073/1609–3577–2014–4–284–289