

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ «СОЛНЕЧНОГО» КРЕМНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Л. П. Стебленко¹, А. А. Подолян¹, А. Б. Надточий¹, А. К. Мельник²,
А. Н. Курилюк¹, Ю. Л. Кобзарь¹, И. В. Юргелевич¹, С. Н. Науменко¹,
Д. В. Калиниченко¹, А. Н. Крит³

¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, *kyrylyuk_a2008@ukr.net*

²Институт сорбции и проблем эндоэкологии НАН Украины, Киев, Украина

³Учебно-научный центр «Физико-химическое материаловедение»
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
и НАН Украины, Киев, Украина

Данная работа посвящена проблеме влияния слабого постоянного магнитного поля ($B=0,17$ Тл) на электрофизические и структурные свойства кристаллов «солнечного» кремния (s-Si), который используется для нужд солнечной энергетики.

В работе были получены экспериментальные результаты, связанные с влиянием постоянного магнитного поля на кратковременную (τ_1) и долговременную (τ_2) компоненты спада фото-ЭДС. Данные результаты, представленные на рис. 1, свидетельствуют о немонотонном характере изменения электрофизических параметров и могут быть непротиворечиво объяснены на основе представлений, развитых в работе [1].

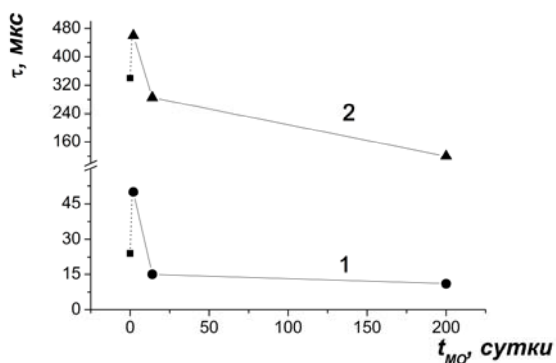


Рисунок 1. – Зависимость кратковременной (1) и долговременной (2) компонент спада фото-ЭДС в кристаллах s-Si от времени магнитной обработки: $B = 0,17$ Тл. ■ - значение τ для контрольных образцов, не подвергавшихся магнитной обработке

Авторы [1] при объяснении наблюдаемых магниточувствительных эффектов в кремнии, используемом для нужд микроэлектроники, учитывают как магнитостимулированные процессы структурной перестройки, так и процессы, связанные с изменением зарядового состояния поверхности при магнитной обработке (МО). Принимая во внимание выводы, сделанные в работе [1], мы исследовали изменение заряда поверхности кристаллов s-Si в зависимости от продолжительности магнитного воздействия. Определение зарядового состояния поверхности проводилось с помощью методики, основанной на локальных измерениях фото-ЭДС в каждой точке образца, и с помощью построения по этим данным карт распределения поверхностного

электропотенциала. Было установлено, что увеличение продолжительности магнитной обработки приводило к увеличению площади распределения поверхностного потенциала.

Выявленное в работе увеличение площади распределения поверхностного электрического потенциала после МО хорошо коррелирует с установленными в [2] эффектами геттерирования и адсорбции примесей, протекающими на магнитоактивированной поверхности.

Исследования, проведенные с привлечением метода рентгеноспектрального анализа, показали, что в результате действия магнитного поля в приповерхностном слое кристаллов толщиной ~ 2 мкм в среднем $\sim 4,8$ раза возрастает количество атомов углерода, в $\sim 1,6$ раза увеличивается количество атомов кислорода, претерпевает изменения и количество атомов матрицы кремния. Не исключено, что благодаря взаимодействию атомов углерода между собой, а также с атомами кислорода и кремния могут образовываться углеродные и кремний-углеродно-кислородные комплексы, которые, согласно [3], являются электрически активными. По нашим предположениям, данные комплексы должны влиять как на зарядовое состояние поверхности, так и на ее топологию.

Результаты исследований топологии поверхности, подвергавшиеся магнитному воздействию, проведенные с привлечением метода магнитной силовой микроскопии (МСМ), подтвердили высказанное предположение. Эти исследования выявили увеличение в ~ 2 раза параметра шероховатости поверхности и обнаружили формирование в условиях магнитного воздействия неоднородной поверхностной структуры (рис. 2).

В свою очередь, установленная неоднородность рельефа может быть проявлением усиления степени структурной неоднородности кристаллов s-Si в результате МО. Было установлено, что такая корреляция, действительно, существует. Результаты, полученные нами методом ЭПР, указывают на то, что после завершения МО возрастает интенсивность линии ЭПР спектра с g-фактором 2,0055, которая соответствует разорванным связям.

Как показали наши последующие исследования, магнитное воздействие может приводить к образованию на поверхности кристаллов s-Si не только новых энергетических уровней в виде разорванных связей, но и к формированию новых поверхностных примесно-дефектных структур. Полученные методом эллипсомерии результаты показали, что под воздействием магнитного поля и стимулированных этим влиянием процессов адсорбции на поверхности s-Si на природном окисном слое толщиной ~ 4 нм формируется дополнительный слой окиси, который достигает толщины ~ 8 нм (рис.3). Как видно из рис. 3, магнитостимулируемый рост толщины аморфного окисного слоя приводит к уменьшению \sim на 0,05 по-

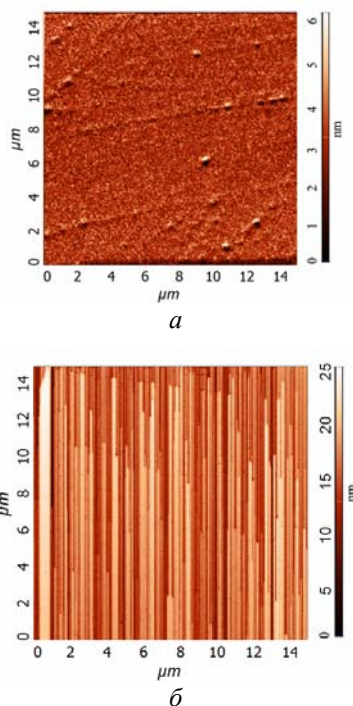


Рисунок 2. – МСМ изображения образцов кремния для солнечной энергетики: *a* – контрольный образец, *б* – образец после МО ($B = 0,17$ Тл, $t_{MO} = 14$ суток)

казателя преломления кремния. Полученные экспериментальные результаты указывают на то, что исследуемые характеристики – толщина окисной пленки и величина показателя преломления через определенное время после завершения МО постепенно релаксируют к исходным (контрольным) значениям.

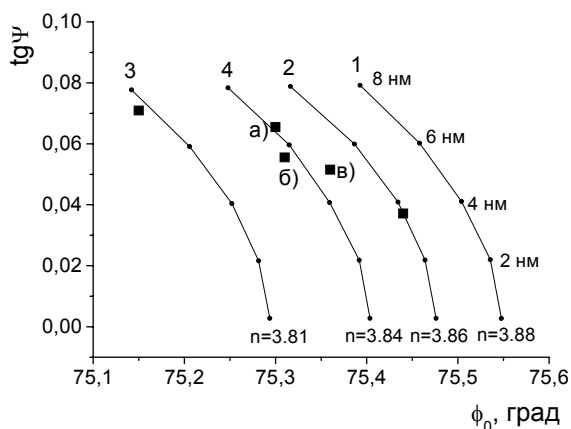


Рисунок 3. – Зависимость азимута восстановленной поляризации ($\text{tg } \psi$) от главного угла падения света (ϕ_0):

1 – литературные данные для системы Si-SiO₂ (где SiO₂ – естественная окисная пленка) Handbook of Optical Constants of Solids / ed. by E.D. Palik, Copyright © 1997 Elsevier Inc.;
2 – экспериментальные данные, зафиксированные для исходного образца Si; 3 – для образца Si сразу после магнитной обработки ($B = 0,17$ Тл, $t_{\text{МО}} = 14$ суток); 4 – исследуемый образец Si через 3 месяца (а), 4 месяца (б) и 7 месяцев (в) после завершения МО

Результаты, полученные в нашей работе, свидетельствуют о магнитоиндуцированном повышении химической активности поверхности кристаллов s-Si, которая в отсутствие магнитного воздействия является достаточно инертной. Фактором ответственным за повышение химической активности поверхности является формирование под влиянием магнитной обработки более дефектной поверхностной структуры. Механизм поверхностной структурной эволюции может состоять в следующем. Индуцированный магнитным полем процесс синглет-триплетной конверсии [4] в комплексах точечных дефектов стимулирует распад комплексов Si-O и приводит к образованию кислородных вакансий (-O). Миграция свободных вакансий к поверхности приводит к формированию большей рельефности и вызывает увеличение количества химически активных центров на поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кадменский А.Г., Кадменский С.Г., Левин М.Н., Масловский В.М., Чернышев В.Е. // Письма в ЖТФ. 1993. Т.19. вып. 3. С. 41.
2. М.Н. Левин, А.В. Татаринцев, О.А. Косцов, А.М. Косцов, ЖТФ 73 No 10, 85 (2003).
3. Вавилов В. С. Дефекты в кремнии и на его поверхности / Вавилов В. С., Киселев В. Ф., Мукашев Б. Н. – М.: Наука, 1990. – 212 с.
4. А. Л. Бучаченко. ЖЭТФ, 132(3), с.673 (2007).