

Из полученных диэлектрических закономерностей определяются оптические характеристики, важные для космического материаловедения.

1. Будников, П.П., Булавин, И.А., Выдрик, Г.А., Костюков, Н.С. и др. Новая керамика. – М.: Стройиздат, 1969. – 311 с.
2. Еремин, И.Е., Еремина, В.В., Костюков, Н.С. Моделирование электронно-атомной структуры конденсированных диэлектриков. Научно-практическое издание. – Благовещенск: АмГУ, 2006. – 100 с.
3. Костюков, Н.С., Щербакова, Е.В., Соколова, С.М. Анализ частотных характеристик неорганических диэлектриков с одним типом релаксаторов // Электричество. – 2015. – № 7. – С. 62-66.
4. Костюков, Н.С., Соколова С.М. Диэлектрические потери в микролите при наличии нескольких релаксаторов // Электричество. – 2014. – № 3. – С. 62-66.
5. Физические величины. Справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Зейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1231 с.

УДК 538.975

В.Л. Дубов, Д.В. Фомин

**ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИСИЛИЦИДА БАРИЯ НА SI (111)
МЕТОДАМИ РЕАКТИВНОЙ И ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ
И ИССЛЕДОВАНИЕ IN-SITU ИХ СВОЙСТВ***

В работе выполнено формирование тонких пленок дисилицида бария методами реактивной и твердофазной эпитаксии. Полученные пленки исследованы in-situ методами электронной оже-спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь энергии электронами.

Ключевые слова: тонкие пленки, реактивная эпитаксия, твердофазная эпитаксия, кремний, барий.

**FORMATION OF THIN FILMS DISILICIDE BARIUM IN SI (111) BY REACTIVE
AND A SOLID EPITAXY AND IN-SITU STUDY OF THEIR PROPERTIES**

This paper presents the results of barium silicide thin films formation gained with reactive methods and solid phase epitaxy. The resulting films were studied in-situ with the methods of Auger electron spectroscopy and electron energy loss.

Key words: thin film, reactive deposition epitaxy, solid phase epitaxy, silicon, barium.

Введение

На данном временном этапе научным сообществом ведется активный поиск материалов для создания фотоэлектрических преобразователей с лучшими свойствами и меньшей стоимостью, чем существующие. Основой для таких материалов могут служить тонкие пленки щелочноземельных си-

* Работа выполнена при поддержке некоммерческого благотворительного фонда Прохорова в рамках конкурса «Академическая мобильность» по договору №АМ-153/15.

лицидов, в частности дисилицида бария [1, 2]. Поэтому осуществляется активная работа по поиску оптимального метода получения тонких пленок BaSi_2 на Si с КПД, близкими к теоретическим [3].

Эксперимент

Пленки BaSi_2 на Si(111) были сформированы методом реактивной и твердофазной эпитаксии в сверхвысоковакуумной (СВВ) камере прибора PHI model 590 с базовым давлением $1 \cdot 10^{-10}$ Торр. Осаждение велось: барий – из источника, выполненного из танталовой фольги в виде трубочки с проколом, а кремний – с пластины, вырезанной из шайбы КДБ 45 Si(111). Подложка вырезалась из промышленной шайбы FZN100 Si(111) с удельным сопротивлением 50-75 Ом и подвергалась стандартным процедурам очистки (в ацетоне, изопропиловом спирте), а также высокотемпературному прогреву в течение 6 часов при температуре 600°C . Дополнительно для получения атомарно-чистой поверхности трижды повторялся высокотемпературный прогрев при $T=1250^\circ\text{C}$ в течение 3 сек. каждый. Скорость осаждения калибровалась с использованием кварцевого датчика прибора Sycon Instruments и составила 1 нм/мин. для бария и 0.5 нм/мин. – для кремния.

В результате эксперимента были сформированы два образца: № 1 – методом реактивной эпитаксии осажден (в два этапа) слой Ba толщиной 20 нм при температуре кремниевой подложки $T_{\text{Si}} = 800^\circ\text{C}$; № 2 – методом твердофазной эпитаксии осаждены послойно Ba и Si, толщинами 60 и 40 нм соответственно, после чего проведена рекристаллизация при $T_{\text{Si}}=900^\circ\text{C}$ в течение 1 часа. Данные образцы исследовались *in situ* методами оже-электронной спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь энергии электронами.

Результаты и их обсуждение

Спектры оже-электронов, полученные при формировании тонких пленок образцов (рис. 1), схожи: в обоих случаях наблюдаются интенсивные пики кремния (около 90 эВ) и двойные пики бария (в районе 580 эВ). Это свидетельствует, что в состав сформированных пленок входят Si и Ba. Причем заметно, что образец № 2 был лучше очищен перед формированием пленки, чем первый образец.

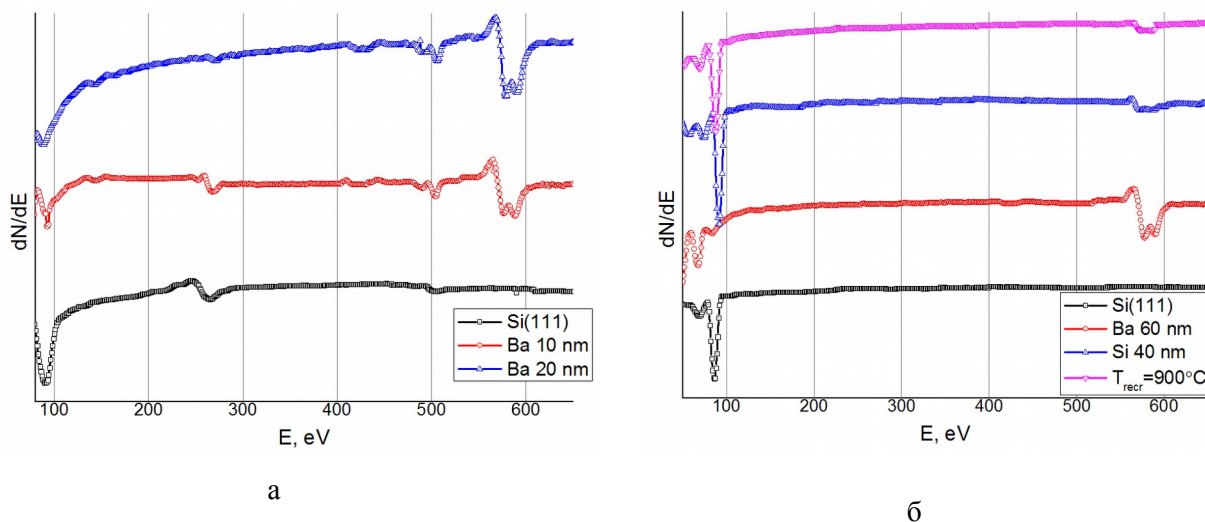


Рис. 1. Оже-спектры образцов, полученные в ходе их формирования:

а – образец № 1; б) – образец № 2.

Полуколичественный компонентный анализ образцов, проведенный по методу коэффициентов элементной чувствительности, в силу низкой точности последнего позволяет только предположить на данном этапе исследований, что поверхностный состав пленки образца № 2 более близок к полупроводниковому дисилициду бария BaSi_2 , чем образца № 1.

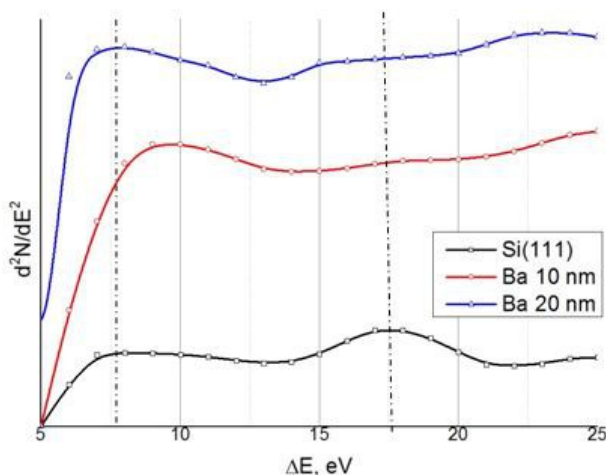


Рис. 2. Спектры ХПЭЭ образца № 1.

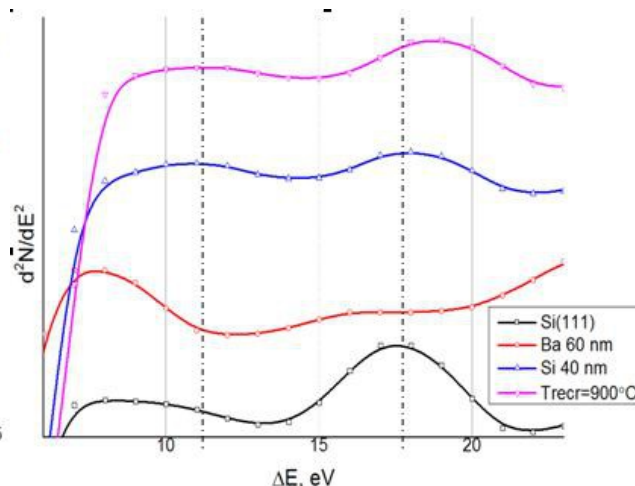


Рис. 3. Спектры ХПЭЭ образца № 2.

Спектры ХПЭЭ образцов достаточно сильно отличаются друг от друга (рис. 2).

Так, на верхнем спектре образца № 1, толщина пленки которого на последнем этапе формирования составила 20 нм, отмечается исчезновение объемного (17.2 эВ) и поверхностного (в районе 10 эВ) плазмонов кремния. Отсутствие на графике пика с энергией близкой к 5-6 эВ, характеризующей межзонный переход в силициде, формируемом на стадии его роста, говорит о низком показателе силицидообразования у этого образца. Вид спектральной кривой характерен для пленок с металлическими свойствами [4].

Анализ верхнего результирующего спектра ХПЭЭ образца № 2 (рис. 3), полученного методом твердофазной эпитаксии, показывает отсутствие пика чистого бария при наличии пика с большой полушириной и максимумом при энергиях от 10 эВ до 14 эВ – слабого пика BaSi_2 (13.5 эВ). Это лучший показатель среди анализируемых пленок. Однако полученный пик имеет малую интенсивность, что говорит о небольшом количестве сформированного дисилицида бария.

Мы полагаем, что полученные результаты могут быть связаны с тем, что коэффициент диффузии атомов бария через кристаллический кремний весьма низок и на поверхности подложки образца № 1 сначала образуется дисилицид кремния с большим содержанием свободных атомов бария, а при дальнейшем осаждении из-за дефицита атомов кремния – силицид в окружении металлической пленки бария. То есть формирование пленок BaSi_2 методом реактивной эпитаксии толще 10 нм затруднительно, тогда как для образца №2 коэффициент взаимодиффузии аморфных бария и кремния хоть и выше, чем для № 1, но все же недостаточен для образования сплошной толстой пленки дисилицида.

Решением данной проблемы может являться соосаждение Ва и Si в тех же условиях, что для образца № 2. Работы в данном направлении уже ведутся.

1. Migas, D.B., Shaposhnicov, V.L., Borisenko, V.E. Isostructural BaSi_2 , BaGe_2 and SrGe_2 : electronic and optical properties // *Phys. Stat. sol.* – 2007. – № 7. – P.2611-2618.
2. Ankit, Pokhrel, Leith, Samad, Fei Meng and Song, Jin. Synthesis and characterization of barium silicide (BaSi_2) nanowire arrays for potential solar applications // *Nanoscale.* – 2015. – № 7. – P. 17450-17456.
3. Suemasu, T. Exploring the possibility of semiconducting BaSi_2 for thin-film solar cell applications // *Japanese Journal of Applied Physics.* – 2015. – № 54.
4. Ibach, Harald. *Electron energy loss spectrometers, the technology of high performance.* – Springer-Verlag: Berlin; Heidelberg, 1991.