

## ПЛЕНКИ Si, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

**А.А.АГАСИЕВ, Ч.Г.АХУНДОВ, М.З.МАМЕДОВ, Н.Н.ГОДЖАЕВ, Х.О.ГАФАРОВА**

*Бакинский Государственный Университет  
А31148, г.Баку, ул.З.Халилова 23*

Sabit cərəyanlı maqnetron sistemli ion tozlandırma üsulu ilə şüşə və NaCl altlıqlar üzərində slisiumun amorf (adavari) təbəqələri alınmışdır. Təbəqələrin çökmə temperaturunun və qalınlığının adacıqların tam formalaşmasına təsiri müəyyən edilmişdir.

Магнетронным ионным распылением на постоянном токе получены аморфные (островковые) пленки кремния на стекле и NaCl. Показано влияние температуры осаждения пленок и толщины на коалесценцию островков пленок.

The amorphous (islet) films of Si have been obtained on the glass and NaCl by the method of the magnetron sputtering at d.c. It was shown the effect of the films precipitation temperature and layer thickness upon the coalescence of the islets of films.

Принято считать, что тонкие пленки материалов образуют в большинстве случаев такой же структурой, что и массивный кристалл. Однако, в пленках структурный порядок, т.е. размер и ориентация кристаллитов, существенно иная, чем в массивном материале. В зависимости от подвижности адатомов в процессе осаждения структурный порядок атомарно осаждаемых пленок может меняться от сильно разупорядоченного (например, в аморфизированных пленках) до высоко упорядоченного состояния (например, в эпитаксиальных пленках на монокристаллических подложках). В отличие от этих «нормальных» пленок существует множество материалов, которые, будучи нанесенными на подложку в определенных условиях, образуют пленки, по структуре заметной отличающиеся от массивных материалов. Считается, что такие «аномальные» пленки обладают различными структурами: аморфной, метастабильной, нестабильной полиморфной, накладной («сверхструктура») [1, 2].

Известно, что термодинамически стабильная поверхность кристалла (или пленки) обладает структурой объемной фазы. Однако этого может не быть, когда речь идет о резком обрыве кристаллической решетки. Следует полагать, что в этом случае должно наблюдаться упорядоченное смещение поверхностных атомов относительно объемной решетки (и по поверхности и по нормам к ней), в результате чего, поверхностная энергия достигает минимальной величины. Поверхностные атомы должны перестраиваться, образуются двумерные сверхструктуры, как-то связанные с объемной структурой, но более изменчивые, например, под влиянием внешних воздействий. Если существуют сверхструктуры, то в таких пленках должны происходить и превращения типа порядок-беспорядок, делающие возможным существование на одной и той же поверхности разных структур [3, 4].

Подложка, с нанесенной на нее островковой пленкой, во многих физических процессах представляет собой единую, существенно неоднородную систему. Поэтому при рассмотрении физических явлений в этих пленках, помимо свойств самих островков, необходимо учитывать свойства границы раздела пленки – подложка, а также свойства поверхностного слоя подложки. Кроме того, важной особенностью пленок является крайне неравновесный характер их формы и структуры. Вследствие этого, после завершения процесса роста, в островках протекают различные релаксационные процессы, кинетика которых зависит, в частности, от внешних воздействий. В

результате таких необратимых изменений, физические параметры, характеризующие пленку, стремятся к термодинамически равновесным значениям. Типичные времена релаксации изменяются в пределах от долей секунды до нескольких лет.

Со статистической неоднородностью островковых пленок связаны принципиальные трудности при объяснении результатов экспериментальных исследований их свойств. Действительно, спектр электронов, фононный спектр, механизмы рассеяния носителей тока в островке, форма потенциального барьера на границе островок-вакуум и островок-подложка, механизм взаимодействия электромагнитных волн с островком существенно зависят от размеров частиц по ряду причин: из-за эффектов размерного квантования, влияния поверхностных состояний примесей и дефектов структуры, взаимодействия между островком и подложкой.

Таким образом, во-первых, возникает задача определения влияния различных структурных и морфологических характеристик островка и границы раздела на физические свойства, и, во-вторых, задача статистического усреднения свойств в системе, состоящей из большого коллектива дискретных островков и подложки.

Несмотря на то, что кристаллическая структура островков дискретных пленок металлов в большинстве случаев принципиально аналогична структуре массивного тела, электрофизические свойства островковых конденсатов на диэлектрической подложке коренным образом отличаются от свойств массивного металла и по своему характеру ближе к свойствам полупроводников. Удельное электросопротивление таких систем на много порядков выше сопротивления массивного материала и определяется, в первую очередь, толщиной слоя.

Размер островков колеблется в широких пределах и зависит от толщины пленки, тугоплавкости и химической активности металла, параметров конденсации. При осаждении на холодную подложку пленок относительно небольшой толщины величина островков может составлять всего несколько десятков ангстрем и менее. При этом число свободных электронов в каждом из них будет невелико. Например, в островке в виде куба со стороной  $\ell$ , количество свободных электронов  $n = 0,06 \ell^3$  и для

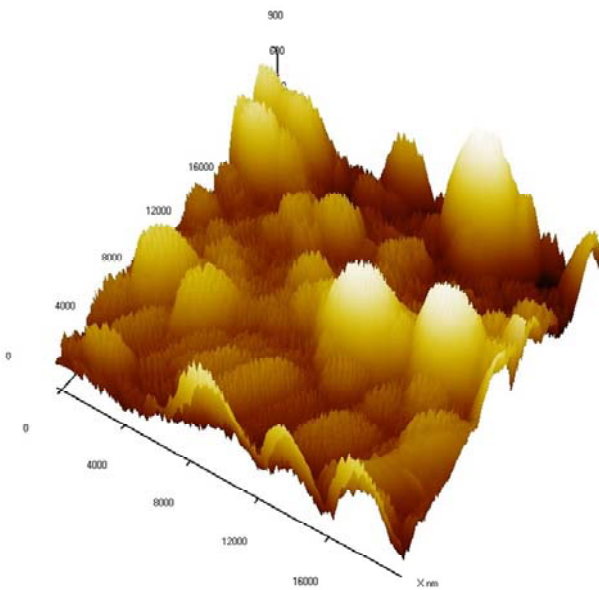
$$\ell = 20 \text{ \AA}, n = 500 \text{ [3]}.$$

## ПЛЕНКИ Si, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

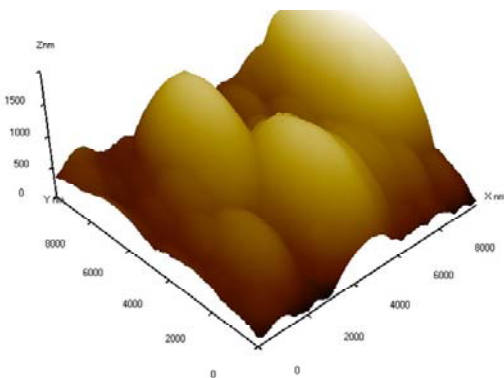
Энергетическая структура электронных состояний в таких островках существенно отличается от массивного металла. В частности, это проявляется в дискретности энергетических уровней.

Морфологические изменения островковых пленок имеют сложный характер, поскольку они обусловлены различными самостоятельными, но взаимосвязанными физическими процессами. Относительная интенсивность этих процессов, а, следовательно, и результат преобразования структуры определяется энергией взаимодействия атомов пленки между собой и с подложкой, а также физико-технологическими параметрами конденсации и последующей обработки, в особенности, температурным режимом осаждения и отжига.

Нами были получены аморфные пленки кремния методом магнетронного ионного распыления на постоянном токе в среде аргона. Пленки были толщиной  $\sim 1$  мкм, наносились на стекло и NaCl. Использовались диски радиусом  $\sim 56$  мм, и толщиной  $\sim 1$  мм кремния р-типа. Давление аргона составляло 0,2 мм рт.ст., напряжение было 240В, а ток 0,4А. Распыление производилось при комнатной температуре в течении 35 мин. На рис.1 представлена микроскопическая фотография Si на стекле, а рис.2 - на NaCl. Снимки были сняты на атомно-силовом микроскопе СЕМУ-ЛЗ.



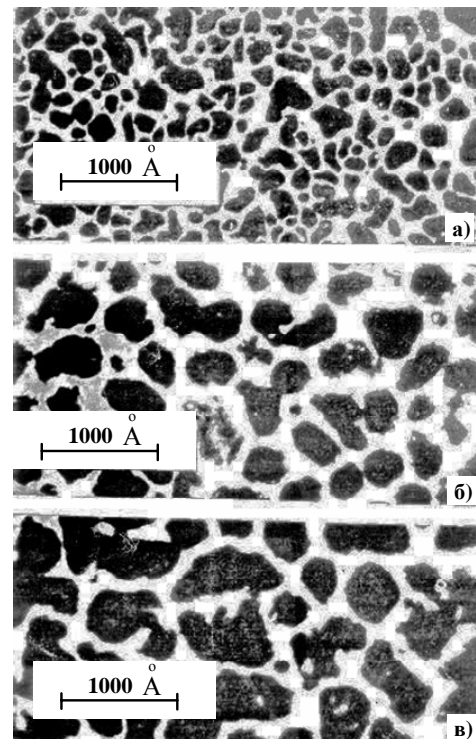
**Рис.1.** Микроскопическая фотография пленки Si на стекле.



**Рис.2.** Микроскопическая фотография пленки Si на NaCl.

Эволюция морфологических характеристик (плотности, размера, формы островков и промежутков между ними) осуществляется двумя путями: за счет индивидуального формоизменения каждого островка и за счет взаимодействия между островками.

Для описания морфологических изменений островковых пленок применяются понятия коалесценции, коагуляции, агрегирования, гетеродиффузии, миграции и т.д. Перемещение островков по подложке как единого целого называется миграцией, а движение отдельных атомов в адсорбированном состоянии - гетеродиффузией или переносом вещества через двумерный пар. Вследствие роста или миграции частиц пленки осуществляется физическое контактирование островков между собой. Если взаимодействие между островками сильнее, чем между островками и подложкой, а температура высока, то имеет место коалесценция [2].



**Рис.3.** Влияние толщины на структуру конденсата Si на кварце при  $T_n=300^\circ\text{C}$  X 50000.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих морфологию пленки, является её температура при конденсации ( $T_n$ ). Известно, что конденсация может осуществляться по двум механизмам: пар-кристалл (П-К) и (через жидкую фазу) пар-жидкость-кристалл (П-Ж-К), причем реализация каждого из механизмов зависит от температуры  $T_n$ . Переход от одного механизма к другому осуществляется при критической температуре  $T_{кр}$ . Если конденсация происходит на нейтральную неориентирующую подложку, то она равна  $\sim 2/3 T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  – температура плавления материала [5]. По мере возрастания толщины, помимо уменьшения числа островков происходит инверсия среднего расстояния между островками. На рис.3 показана серия структур пленок Si увеличивающихся толщин, на которой инверсия средней величины зазора обнаруживается визуально. Инверсия среднего

расстояния между островками свидетельствует о том, что растущие островки неподвижны, и среднее отношение высот островка к площади его основания не увеличивает-

ся, а происходит миграция островков с последующей коагуляцией или коалегценцией.

- 
- [1]. *Л.Моиссева, Р.Гунта.* Технология тонких пленок. Справочник. Москва, «Советское радио», 1977, с.630
- [2]. *А.С.Даровский, А.Г.Ждан, В.Н.Неменкуший.* Сб. Диспергированные металлические пленки. Изд.-во АН УССР. Киев (1976)155
- [3]. *Дж.Поута, К.Гу, Дж.Мейера.* Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции. Москва «Мир», 1982, с.575
- [4]. *В.И.Белый, Н.В.Гельфонд и др.* Журнал Структурной Химии, том 43, №4, 2002, с.605-628
- [5]. *Л.И.Трусов, В.А.Холмянский.* Островковые металлические пленки. М., Металлургия, (1973) 360

*Daxil olunub: 01.07.2007*