

12. Мохосоев М.В., Алексеев Ф.П., Луцык В.И. Диаграммы состояния молибдатных и вольфраматных систем. Новосибирск, «Наука». 1978.- 320с.

13. Straumanis M.E.//Anal. Chem. - 1949 г., - vol.71, - p.679.

14. Ekstrom T., Tilley R.J.D.//J.Solid State Chem. 1978.Vol.24. №2. P.209-218.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю – д.х.н., профессору Кочкарову Жамалу Ахматовичу.

Работа выполнена при поддержке программы «УМНИК» №8738 ГУ2015

\*\*\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИСХОДНЫХ ПОДЛОЖЕК НА ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ НАНОКЛАСТЕРОВ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ

Строгова А.С.

*Республика Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, strogova@bsuir.by*

В научно-исследовательских центрах мира основное внимание уделяется разработке технологий создания новых материалов для подзатворного диэлектрика с высокой диэлектрической проницаемостью и материалов для наноразмерных кластеров, использующихся в качестве затвора в МДП-структурах, на основе которых строится флеш-память. Наиболее актуальным направлением является разработка технологии создания нанокластеров кремния, германия и твердого раствора кремний-германий, что позволит повысить качество и надежность ЭПЗУ энергонезависимой памяти. Изучение поверхностных явлений играет важную роль в исследовании процессов зарождения, роста и самоорганизации нанокластеров [1–2]. Значение процессов, происходящих на поверхности исходной подложки, возрастает с уменьшением их размеров. Специфические свойства приповерхностной области могут даже определять характеристики изделий на основе нанокластеров. Наилучшим путем для получения информации о фундаментальных свойствах поверхности является исследование чистых поверхностей. При этом важно не только приготовить чистую поверхность, но поддерживать в таком состоянии в процессе самоорганизации нанокластеров. В частности нанокластеров кремний-германий (SiGe).

Проведены исследования процессов образования и трансформации нанокластеров кремний-германий в зависимости от типа и особенностей обработки поверхности исходных кремниевых подложек. Установлены закономерности формирования нанокластеров, объясняющие то, что для самоорганизации нанокластеров SiGe выгодно малое смещение поверхностных атомов сложных структур на чистой поверхности с образованием связей типа Ge–Ge или Si–Si.

Установлены закономерности, объясняющие трансформацию нанокластеров в результате их отжига, при котором они претерпевают структурную перестройку, в результате которой происходит переход наномасштаба в микромасштаб.

На рис. 1–2 представлены топографии поверхности исходных подложек, прошедших различные типы обработки. Как видно из рис. 1–2 только обработка исходных подложек с супертонкими слоями оксидов и нитрида кремния в среде водорода позволяет получить практически чистую безрельефную поверхность. Установлена зависимость степени увеличения чистоты поверхности, наблюдавшаяся при обработке супертонких (4 нм) покрытий из диоксида кремния на исходной кремниевой подложке от типа восстановительных реакций между диоксидом кремния и водородом, в результате которых происходит удаление оксида кремния и вскрытие чистой поверхности исходной кремниевой подложки. На чистой поверхности монокристалла кремния имеется резкий обрыв кристаллической решетки. Вследствие этого внешняя оболочка поверхности атомов кремния (Si) заполнена не полностью и имеются, следовательно, ненасыщенные связи. Предполагается, что последовательная адсорбция одного или двух монослоев германия приводит к образованию нанокластеров SiGe. При этом вначале наблюдается быстрое формирование первого монослоя SiGe, а затем более медленное формирование второго и третьего монослоев SiGe.

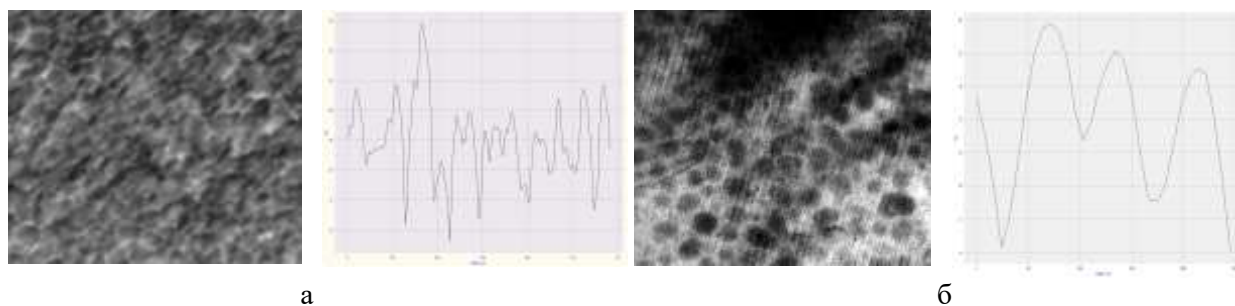


Рис. 1 Профиль неровностей поверхности исходных подложек, прошедших обработку в хлористом водороде (а) и в водороде (б)

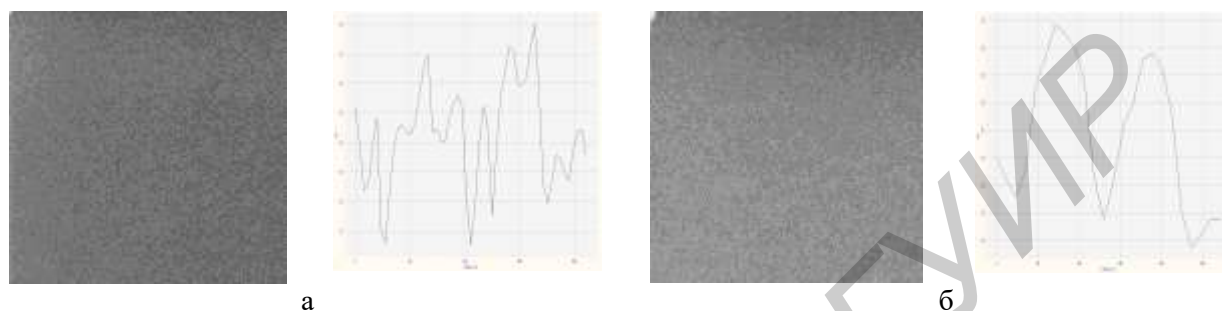


Рис. 2 Профиль неровностей поверхности исходных подложек с диоксидом диспрозия (а) и диоксидом иттрия (б), прошедших обработку в водороде (б)

Процесс формирования нанокластеров SiGe на чистых поверхностях кремния и германия состоит из стадии зарождения монослоя и последующей стадии медленной коалесценции второго слоя. Скорость медленной коалесценции пропорциональна логарифму времени. Эти процессы зависят от метода приготовления чистых поверхностей исходных подложек.

Результаты исследований процессов образования и трансформации нанокластеров кремний-германий в зависимости от типа и особенностей обработки поверхности исходных кремниевых подложек позволяют сформировать нанокластеры SiGe, имеющие более равноценную поверхностную структуру, что обуславливает повышенную (в 1,3–1,5 раза) плотность их, суженный (на 50–100 °С) температурный диапазон самоорганизации, повышенную (в 1,2–1,5 раза) стабильность.

Таким образом, степень совершенства поверхности следует рассматривать как существенную часть общей задачи приготовления чистой поверхности перед процессом формирования нанокластеров SiGe и подавления их трансформации из наноразмеров к микроразмерам. Идеально было бы получить атомарно гладкую поверхность, параллельную заданной системе кристаллографических граней и не содержащую дефекты решетки или загрязнения. Практически же существенно знать допустимые отклонения от идеального случая в данном процессе и определить возможность реализации требуемых условий. Чтобы получить требуемую степень совершенства поверхности в массивных монокристаллических подложках или пленках, надо применять специальные методы обработки их поверхности. Термообработка и скорость охлаждения подложек с нанокластерами SiGe могут влиять на их структуру, размеры и даже состав. Отожженные образцы нанокластеров претерпевают трансформацию, в результате которой происходит переход наномасштаба в микромасштаб. Это необходимо учитывать при разработке основ технологических решений повышения качественных характеристик нанокластеров SiGe, также как и обработку поверхности исходных подложек в различных по составу газовых средах с учетом температурного воздействия с целью изменения поверхностных свойств исходной подложки. Это позволит расширить номенклатуру и области использования формируемых структур на их основе, чтобы использовать их для создания изделий электронной техники. Улучшение технических характеристик нанокластеров SiGe, создаваемых в настоящее время, основанное на результатах выполненных исследований, позволит расширить сферы их использования [3–6].

\*Выражается особая благодарность за совместный труд выполненных работ вед.науч.сотр., канд.техн. наук Ковалевскому Александру Адамовичу.

Литература:

1. В.А. Гриценко, К.А. Насыров, Ю.Н. Новиков, А.Л.Асеев *Микроэлектроника*. **12(2)** с.90-96. (2003)

2. О.М. Комар, А.А. Ковалевский, А.С. Строгова *Кремнийгерманиевые наноструктурированные пленки и нанокластеры* (LAP Lambert Academic Publishing) 345 с. (2016)
3. А.А. Ковалевский, В.М. Борисевич, А.С. Строгова, Н.С. Строгова 23rd Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". 9–13 September, Ukraine. С. 836–837. (CriMiCo' 2013)
4. А.А. Ковалевский, А.С. Строгова, Д.В. Плякин *Материалы. Технологии. Инструменты*. **14**(3), с. 90–95. (2009)
5. А.А. Ковалевский, А.С. Строгова, Д.В. Плякин *Неорганические материалы*. 45(5) с.632–637. (2009)
6. А.А. Ковалевский, А.С. Строгова, Д.В. Плякин, В.М. Борисевич *Нано- и микросистемная техника*. 4. с.14-19 (2009)

\*\*\*\*\*

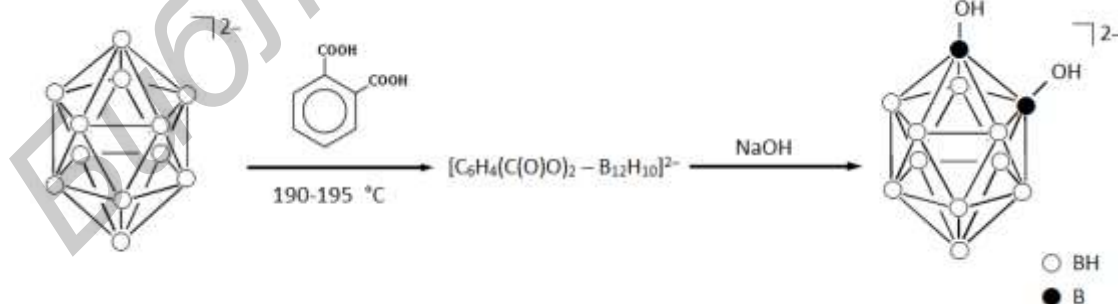
## НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ВОДОРАСТВОРИМОГО КЛАСТЕРНОГО АНИОНА БОРА 1,2-[B<sub>12</sub>H<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup>

Сухорук Г.А.

*Россия, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,  
grsukhorukov@gmail.com*

Ярко выраженная тенденция к реакциям замещения с сохранением борного остова додекагидро-κлозо-додекаборат (2-) аниона во многом определяется пространственноароматическим характером химической связи [1]. Актуальность изучения реакционной способности [B<sub>12</sub>H<sub>12</sub>]<sup>2-</sup> и механизмов образования его замещенных производных с экзо-полиэдрическими функциональными группами обусловлена, прежде всего, тем, что без таких соединений невозможно конструирование новых борсодержащих веществ и материалов на их основе. Необходимость поиска новых методов введения функциональных кислородсодержащих групп в качестве экзо-полиэдрических заместителей определила цель настоящей работы, а именно исследование взаимодействия бис(тетрабутиламмония) додекагидро-κлозо-додекаборат (2-) с расплавом бензол-1,2-дикарбоновой кислоты в инертной атмосфере. Известно, что региоселективность химической реакции в некоторых случаях определяется геометрией выбранного реагента [2]. В данной работе рассматривается указанный подход к функционализации κлозо-додекаборатного аниона.

Додекагидро-κлозо-додекаборат (2-) анион реагирует с расплавом бензол-1,2-дикарбоновой кислоты при температуре 190–195 °С в атмосфере сухого аргона с образованием карбоксилатзамещенного производного [C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(C(O)O)<sub>2</sub> – B<sub>12</sub>H<sub>10</sub>]<sup>2-</sup>, щелочной гидролиз которого приводит к образованию соответствующего гидроксозамещенного производного [B<sub>12</sub>H<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup>:



В рассматриваемой реакции бензол-1,2-дикарбоновая кислота выступает в роли как реагента, так и растворителя. Синтез проводили, исходя из тетрабутиламмониевой соли, которая достаточно хорошо растворима в бензол-1,2-дикарбоновой кислоте. Необходимо поддерживать температурный режим и избыточное давление в реакционной среде, в противном случае бензол-1,2-дикарбоновая кислота обугливается.

Данные элементного анализа синтезированных соединений представлены в таблице 1. Из-за высокой гидрофильности гидроксозамещенного производного приводятся данные для (TRP)<sub>2</sub>[B<sub>12</sub>H<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>].