

## ОБ ИОННО-ЛУЧЕВОМ СИНТЕЗЕ СТЕКОЛ

А.А. Дешковская  
 Национальный институт образования РБ,  
 220004, г. Минск, ул. Короля, 16, т. 226-53-13.

Важнейшая роль в изменении свойств стекол, подверженных ионно-лучевой модификации, принадлежит ионному синтезу. В отличие от традиционного, он является результатом твердофазных реакций между внедренными атомами примеси и атомами мишени. Механизм фазообразования при ионном синтезе основан на известном представлении о "пиках смещения". В работе приведены факты, доказывающие наличие ионного синтеза в кварцевых стеклах, подверженных бомбардировке ионами  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^+$ ,  $\text{P}^+$ ,  $\text{B}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{Cr}^+$ ,  $\text{Ti}^+$ ,  $\text{F}^+$ ,  $\text{Xe}^+$ ,  $\text{In}^+$ ,  $\text{Ag}^+$  в интервале энергий 30-200 КэВ при флюэнсе  $10^{16}$  -  $10^{18}$  см<sup>-2</sup>. Впервые получены ионно-синтезированные слои стекол, содержащие высокую концентрацию окислов Ag, Ti, In, P, Li, Cr, а также ксенон-содержащие стекла. Применение ионной бомбардировки для синтеза стекла в стекле представляет большой интерес с точки зрения возможности расширения границ стеклообразования силикатных стекол и получения стекол нового типа.

### 1. Введение

Причиной модифицирующего воздействия ионной бомбардировки (ИБ) на свойства стекол является не только изменение элементного состава их приповерхностного слоя, но и совокупность сложных физико-химических процессов, стимулированных энергетическими ионами [1]. Среди этих процессов важнейшая роль принадлежит ионному синтезу, который (в отличие от традиционного) является результатом твердофазных реакций между внедренными атомами примеси и атомами мишени. Механизм фазообразования при ионном синтезе основан на представлении о "пиках смещения" [2-3], т.е. инициируется не термически, а в результате кратковременного возбуждения атомных подсистем в локальных областях вблизи ионных треков. Для ионного синтеза характерна строгая локализация внедренных примесей в узком приповерхностном слое материала без его разрушения. Идея об использовании ИБ в стеклотехнике для синтеза стекла в стекле, т.е. получения в исходном стекле ионно-синтезированных слоев других стекол с участием любых элементов Периодической системы была предложена автором в 1979г. [4,5].

Хотя факт модифицирующего влияния ИБ на стекла известен с 1949г. [6], экспериментальные доказательства наличия ионного синтеза в стеклах и его роли в модификации в литературе не приводились, не были определены и условия, способствующие его протеканию в стеклах.

В то же время ионный синтез представляет для стеклотехники несомненный интерес, поскольку все традиционные методы синтеза и модификации стекол обладают существенным недостатком - неуниверсальностью, которая проявляется в избирательности по отношению к выбору вводимых примесей и составу исходного стекла. Это означает невозможность создания стекол с любым элементным составом с помощью традиционного синтеза, поскольку для каждой конкретной системы на диаграмме состояния существуют свои границы стеклообразования.

Цель данной работы - сообщение о полученных экспериментальных результатах по ионно-лучевому синтезу двухкомпонентных стекол в кварцевом стекле.

### 2. Экспериментальная часть

В качестве исходного стекла использовались полированные пластинки (10x10x5) мм<sup>3</sup> кварцевого стекла как наиболее простого по элементному составу. Бомбардирующими ионами были ионы:  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^+$ ,  $\text{P}^+$ ,  $\text{B}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{Cr}^+$ ,  $\text{Ti}^+$ ,  $\text{F}^+$ ,  $\text{In}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Xe}^+$ .

Выбор параметров ионного легирования для каждого сорта ионов производился на основе предварительных расчетов и анализа профилей пространственного распределения имплантированных примесей и выделенной в упругих соударениях энергии с учетом распыления стекла в соответствии с [7]. В результате варьирования значениями энергии и флюэнсов ионных пучков в интервале 30-300 кэВ и  $10^{16}$  -  $10^{18}$  см<sup>-2</sup> соответственно, в кварцевых стеклах на разной глубине от поверхности были получены ионно-синтезированные слои стекол с участием внедренных примесей. Локализация слоев по глубине хорошо согласовывалась с расчетом.

Элементный состав модифицированных слоев определялся с помощью методов SIMS и RBS, а структурные исследования проводились с помощью методов ИККО, МНПВО, ЭПР, ESCA и AFM.

### 3. Результаты и обсуждение

Из литературы известно [8], что области стеклообразования для двойных силикатных систем на диаграммах состояния очень узкие. Получить прозрачные однородные неликвирующие стекла в таких системах с помощью традиционного синтеза можно лишь при строго ограниченном содержании второго компонента (например, не более 0,09 мол %  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  в системе  $m \text{Nd}_2\text{O}_3 - n \text{SiO}_2$ , не более 16 мол %  $\text{TiO}_2$  в системе  $m \text{TiO}_2 - n \text{SiO}_2$ , не более 36 мол %  $\text{Li}_2\text{O}$  в системе  $m \text{Li}_2\text{O} - n \text{SiO}_2$  и т.д.).

При твердофазном синтезе ограничивающим фактором является не область стеклообразования, а коэффициент распыления исходного стекла под действием ИБ.

В результате проведенных экспериментов удалось получить в исходном кварцевом стекле слои двухкомпонентных стекол следующих систем:  $m \text{Li}_2\text{O} - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{Na}_2\text{O} - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{TiO}_2 - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{In}_2\text{O}_3 - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{Al}_2\text{O}_3 - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{P}_2\text{O}_5 - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{B}_2\text{O}_3 - n \text{SiO}_2$ ,  $m \text{Ag}_2\text{O} - n \text{SiO}_2$ .



$m$   $Cr_2O_3$  -  $n$   $SiO_2$ , а также стекла, содержащие F, N и Xe. Числа  $m$  и  $n$  зависят только от коэффициента распыления стекла и не зависят от диаграммы состояния стекол.

Доказательством наличия ионного синтеза в указанных системах являются следующие экспериментальные факты:

1. Спектральное подобие ионно-синтезированных слоев стекол и стекол того же элементного состава, полученных традиционным синтезом (данные ИКСО, МНПВО) [1,9].
2. Наличие в модифицированных слоях стекол имплантированных примесей в связанном состоянии (по данным SIMS, ESCA) [10,11].
3. Обнаружение в стеклах, имплантированных  $Na^+$  и  $Li^+$ , ликвационных областей, появляющихся при том же элементном составе, что и в соответствующих стеклах, полученных традиционным синтезом (по данным ИКСО и АФМ) [12].

За меру химического взаимодействия имплантированных примесей с окружением принимался частотный сдвиг полосы с максимумом вблизи  $1100\text{ см}^{-1}$  (валентные колебания связи Si - O - Si) в ИК спектрах отражения ионно-модифицированных стекол [1]. Рост частотного сдвига (смещения максимума полосы в низкочастотную область) означал рост эффективности протекания ионного синтеза.

## Выводы

Проведенные исследования указывают на возможность получения принципиально нового типа стекол, состав которых находится за пределами границ стеклообразования на диаграммах состояния, а также стекол с участием инертных элементов.

## Список литературы

1. Дешковская А.А., Отчет по ГБ НИР 84.2005 № госрегистр. 01840020944, Минск, 1988, 117 с.
2. Parsons J.R., *Phil. Mag* 1965, v.12 N 120 p. 1159-1178.
3. Городецкий А.Е., Качурин Г.А., Смирнов Л.С., ФТП, 1968 т.2, в. 7, стр. 927 - 929.
4. Дешковская А., *J. Non-Cryst. Sol.* 38(39), 1980 p. 63-65.
5. Дешковская А.А., Скорняков И.В., Комар В.П., Мат. VII Всесоюз. совещ. по стеклообр. состоянию, Л-д, 1981 с. 99 - 100.
6. Koch J., *Nature*, 1949. V164 N 2 p.19-20.
7. Profile Code, Imp. Science Corp. Dansvers, MA, 1990.
8. Аппен А.А., Химия стекла, Л-д, 1974, 352 с.
9. Дешковская А., Рихтер Э., Шенайх Ю., Комар В., Скорняков И., Взаимодейств. излуч. с тв. телом, Тезис. докл., междун. конф., Мн., 1995, с. 134.
10. Дешковская А., *Rad Eff.* 1987, v. 103 N 1-4 pp. 149-156.
11. Дешковская А., Shtukarev A., Gritsai S., Mat. 8 Intern. Conf. on SMIB' 93, Kanazawa, Japan p. 187.
12. Дешковская А., Richter E., Mat. XI Intern. Conf. on IBMM, Amsterdam, 1988, p.43-44.

## ION BEAM SYNTHESIS OF GLASSES

A.A.Deshkovskaya

National Institute of Education Republic of Belarus, 220094, Minsk, 16 Korolya Str.

Ion synthesis plays the most important role in changing the properties of glasses subjected to ion-beam modification. As distinct from the conventional synthesis, ion synthesis is the result of solid phase reaction between the implanted ions of impurity and the target atoms. In case of ion synthesis, the phase-formation mechanism is based on the known concept of "thermal spikes". The paper contains facts that prove the presence of ion synthesis in quartz glasses subjected to bombardment by ions of:  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Al^+$ ,  $P^+$ ,  $B^+$ ,  $N^+$ ,  $Cr^+$ ,  $Ti^+$ ,  $F^+$ ,  $In^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Xe^+$  within the energy range of 30 to 200 keV at a fluence of  $10^{16}$  to  $10^{18}\text{ cm}^{-2}$ . For the first time, there were obtained ion-synthesized glass layers containing a high concentration of Ag, Ti, In, P, Li, Cr oxides, as well as xenon-containing ions. The use of ion bombardment for the synthesis of glass is of great interest in terms of the possibility of widening the scope of glass-formation of silicate glasses and production of glasses of new types.

