

КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НАНОТОЛЩИННЫХ ПЛЕНОК  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$ .

Э.Ш. АЛЕКПЕРОВ, Э.С.ГАРАЕВ

*Бакинский Государственный Университет.**A31148, г.Баку, ул.З.Халилова 23*

Д.И.ИСМАЙЛОВ

*Институт физики**Национальной Академии Наук Азербайджана**AZ-1143, Баку, Азербайджан, пр.Г. Джавида 33*

Kinematik elektronografiya üsulu ilə vakuüm şəraitində NaCl monokristalı üzərinə çökdürülmüş  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf nazik təbəqədə kristallaşma zamanı faza keçidi tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki,  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf nazik təbəqəsinin kristallaşması Avrami – Kolmoqorov tərəfindən müəyyən edilmiş qanunauyğunluqla baş verir və faza keçidlərinin kinetik əyriləri  $V_t = V_0[1 - \exp(-kt^m)]$  analitik tənliyi ilə xarakterizə olunur.

Методом кинематической электрографии исследована кинетика фазовых переходов, происходящих в результате кристаллизации аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$ , полученных вакуумным осаждением на монокристаллы *NaCl*. Показано, что кристаллизации аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  происходит по закономерностям, установленным Авраами- Колмогоровым, и описывается аналитическим выражением кинетических кривых фазовых превращений  $V_t = V_0[1 - \exp(-kt^m)]$

The crystallization kinetics of amorphous  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  films obtained by the vacuum deposition into NaCl single crystals have been investigated by the kinematic electron diffraction method. The crystallization is shown to occur in accordance with Avraami-Kolmoqorov law and is described by the analytic expression for the phase transition kinetic curves  $V_t = V_0[1 - \exp(-kt^m)]$

Исследование структурных характеристик нанотолщинных полупроводниковых пленок с каждым днем приобретает все большую актуальность. Наиболее важным здесь является изучение процессов образования, роста и кристаллизации подобных пленок. В данной работе методом кинематической электрографии [1] исследованы процессы кристаллизации тонких аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x = 0,3 \div 0,5$  ат%). Как известно, структуру пленок малой толщины целесообразнее исследовать методом дифракции электронов, так как рентгенографический метод в данном случае недостаточно информативен, из-за относительно слабого рассеяния рентгенографических лучей [2]. Превращение одной модификации в другую во многом аналогично переходу из твердого состояния в жидкое и наоборот. При этом, переход одной модификации в другую происходит в результате возникновения и роста зародышей новой модификации в объеме исходной. Сложность изучения данного процесса заключается в том, что зачастую неизвестен механизм роста пленок.

Аморфные пленки  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  были получены при комнатной температуре на подложках, представляющих собой монокристаллы NaCl, KCl. Для полученных аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  толщиной 30 нм были определены истинные значения кинетических параметров процесса кристаллизации, конденсация синтезированных веществ происходила в вакууме  $10^{-4}$  Па со скоростью 3 нм/сек.

Отсюда можно сделать вывод, что кинематические электрограммы аморфных пленок, кристаллизующихся в поликристаллической фазе с моноклинной модификацией, были получены при температурах 348; 383; 413К соответственно. Измерения интенсивностей

линий электрограмм поликристаллических фаз при различных моментах кристаллизаций позволили построить изотермы кристаллизации (рис. 1).

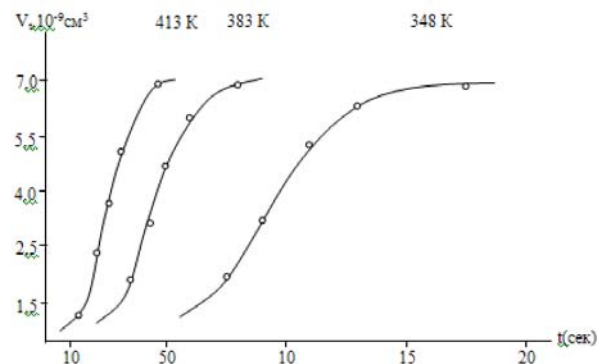


Рис. 1. Кинетические кривые кристаллизации пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$ . 1)  $T_{кр}=413$  К; 2)  $T_{кр}=383$  К; 3)  $T_{кр}=348$  К.

В данной пленке при температурах свыше 438 К наблюдается резкий фазовый переход. В процессе отжига диффузные линии аморфной фазы  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  ослабевают и затем исчезают. Как следствие, усиливаются дифракционные линии образующейся кристаллической фазы и формируется моноклинная сингония с пространственной группой, совпадающей с данными работы [3,4]. Установлено, что изотермы кристаллизации аморфных пленок описываются следующим выражением:

$$V_t = V_0[1 - \exp(-kt^m)] \quad (1)$$

Здесь  $k = 1/3\pi v_3 v_p^3$ ,  $v_3$  - скорость образования центров кристаллизации,  $v_p$  - линейная скорость кристаллизации. Данные изотермы были сопоставлены с аналитическим выражением для кинетических кривых фазовых превращений (с учетом угла наклона прямых зависимостей  $\ln \ln \frac{V_0}{V_0 - V_t}$  от  $\ln t$ ), полученных во всем диапазоне температур кристаллизации пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  (рис.2).

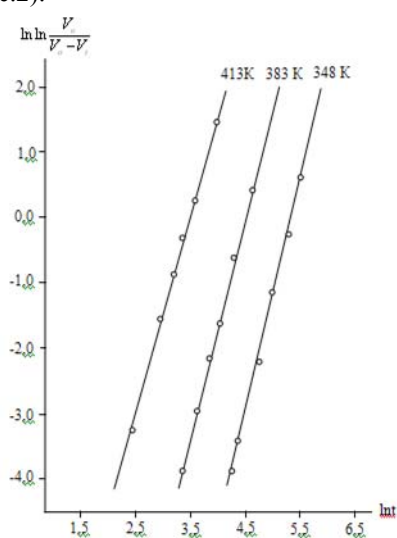


Рис. 2. Зависимость  $\ln \ln \frac{V_0}{V_0 - V_t}$  от  $\ln t$  для кристаллизации аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$ .

При этом значения показателя степени "m", в формуле (1) оказались равны:  $m=3,78$  при 348К  $m=3,89$  при 383 К и  $m=4,00$  при 413К, т.е. близки к четырем. Отсюда можно сделать вывод, что происходит трехмерный рост кристалликов.

Известно, что  $v_3$  и  $v_p$  подчиняются уравнению Аррениуса [5] тогда

$$\ln K = A - \frac{1}{RT}(E_3 + 3E_p) \quad (2)$$

где  $E_3$  - энергия активации зародышеобразования;  $E_p$  - энергия активации роста кристалликов;  $R$  - универсальная газовая постоянная;  $A$  - постоянная, не зависящая от температуры. Из графика зависимости  $\ln K$  от  $(10^3/T)$  была определена общая энергия активации, которая составила 40,9 ккал/моль.

Таким образом, полученные результаты по кристаллизации нанотолщинных аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$ , позволяют сделать вывод о том, что кинетика фазовых превращений в тонких аморфных слоях подчиняется закономерностям, установленным Авраам-Колмогоровым [6].

Величины энергии активации зародышеобразования ( $E_3$ ) и энергии активации роста ( $E_p$ ) для аморфных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  также были определены из графика зависимости  $\ln K$  от  $(10^3/T)$ , и оказались равны 14,5 ккал/моль и 8,8 ккал/моль соответственно.

[1]. Г.А.Эфендиева, Р.Б.Шафизаде, Приборы и техн.эксперим., 1963, №1, 142  
 [2]. Б.К.Вайнштейн, Современная кристаллография, 1979, т.1., 383 с.  
 [3]. D.Ismailov, E.Alekperov, M. Alieva Surface Investigation, 2000, V.15, p.1897-1901

[4]. T.Isaaks J.Appl. Cryst. 1973, V.6., N8, p.413-414  
 [5]. Б.К.Вайнштейн, Структурная электронная электронография, 1956,315 с.  
 [6]. M.Avrami, J.Chem. Phys., 1940, V.8, N2, p.212

Daxil olunub: 01.07.2007