

**КИНЕТИКА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПЛЕНОК
TlGa_{1-x}Ge_xTe₂****Э.Ш.АЛЕКПЕРОВ^{1,2)}, Э.С.ГАРАЕВ²⁾, Д.И.ИСМАИЛОВ¹⁾**¹*Институт физики НАН Азербайджана*²*Бакинский Государственный Университет**aeldar@physics.ab.az*

Методом кинематической электронографии исследована кинетика фазовых превращений аморфных пленок TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ (0.02 < x < 0.05) толщиной 30 нм. Установлено влияние атомов Ge на температуру фазовых переходов. По кинетическим кривым фазовых превращений определены значения энергий активаций зародышеобразования и дальнейшего их роста.

Исследование структурных характеристик нанотолщинных полупроводниковых пленок типа A^{III}B^{III}C₂^{VI} с различными примесями с каждым днем приобретает все большую актуальность. Эти сложные полупроводниковые соединения представляют научный интерес для современной оптоэлектроники [1-3]. Следует отметить, что в этих веществах наблюдается нарушение симметрии, которое приводит к изменению ряда физических характеристик. Подход к рассмотрению процессов роста неупорядоченных материалов, входящих в эту группу, открывает новые возможности для моделирования строения аморфных полупроводниковых пленок. Эксперименты по изучению полупроводников, легированных примесями, можно разделить на две группы.

К первой принадлежат работы, в которых изучалось изменение зонной структуры, обусловленное, главным образом, искажением кристаллической решетки полупроводника. Ко второй группе относится исследование хвоста плотности состояний, распространяющегося в глубь запрещенной зоны.

В настоящей работе изучена кинетика фазовых превращений аморфных пленок TlGaTe₂, легированных примесями Ge. Легирование Ge приводило к изменению зонной структуры, обусловленному искажением кристаллической решетки полупроводника. Нами исследованы и другие соединения, входящие в систему A^{III}B^{III}C₂^{VI} [4].

Методом кинематической электронографии исследована кинетика фазовых превращений аморфных пленок TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ (0.02 < x < 0.05). Исследуемые аморфные пленки толщиной 30 нм были конденсированы путем испарения сплава TlGa_{0.96}Ge_{0.04}Te₂ на подложках из свежих сколов NaCl и KCl при 210K в вакууме 10⁻⁴ Па. Скорость осаждения была 5нм/с. Кинематические электроно-

граммы аморфных пленок, кристаллизующихся в тетрагональной сингонии, были получены при температурах 385; 403; 416К, которые значительно ниже температур кристаллизации аморфных пленок без примесей.

На кинематической электронограмме видно, что дифракционные линии кристаллической фазы усиливаются со временем отжига, а диффузные линии аморфной фазы ослабевают и затем исчезают. Изучение интенсивности линий, характеризующей кристаллическую фазу через определенные промежутки времени отжига, дает возможность судить о количестве закристаллизовавшейся фазы.

Как известно [6], интенсивность линий I_{hkl} была связана с облучаемым объемом кристаллического вещества соотношением

$$I_{hkl} = I_0 \lambda \left| \frac{\Phi_{hkl}}{\Omega} \right|^2 V \frac{d_{hkl}^2 \Delta P}{4\pi L \lambda}. \quad (1)$$

Здесь I_0 – интенсивность первичного пучка излучения, λ – длина электронной волны, Φ – структурная амплитуда дифракционного отражения, которая в кинематическом приближении вычисляется из атомных факторов рассеяния, Ω – объем элементарной ячейки, V – облучаемый объем поликристаллического препарата. d_{hkl} и Δ межплоскостное расстояние и малый участок дебаевского кольца, P – фактор повторяемости усиления дифракционного рефлекса, $L\lambda$ – постоянная прибора, которая определяется в зависимости от приложенного напряжения ускоряющего электронов. При этом хорошим приближением можно считать $I_{hkl} \sim V$.

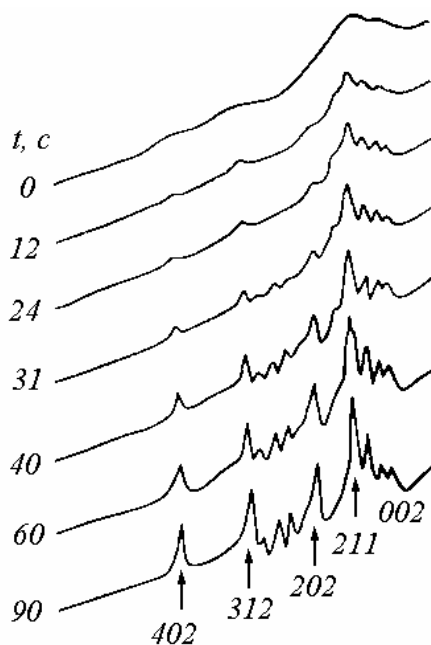


Рис.1. Микрофотограммы от различных участков кинематической электронограммы, снятой при 403К.

Интенсивности линий растущей кристаллической фазы $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$ определялись с помощью микрофотометра от различных участков кинематической электронограммы (рис.1). Из этих микрофотограмм с помощью кривой почернения определялись интенсивности дифракционных линий (002), (211), (202), (312), (402) в зависимости от времени отжига. Переход от значений интенсивности к количеству закристаллизовавшегося вещества осуществляется путем нормировки: максимальное значение интенсивности сопоставляется с полностью закристаллизованным объемом вещества, что позволяет найти значения объема закристаллизовавшейся части вещества в зависимости от времени отжига. В соответствии с вышеуказанным построены изотермы кристаллизации (рис.2).

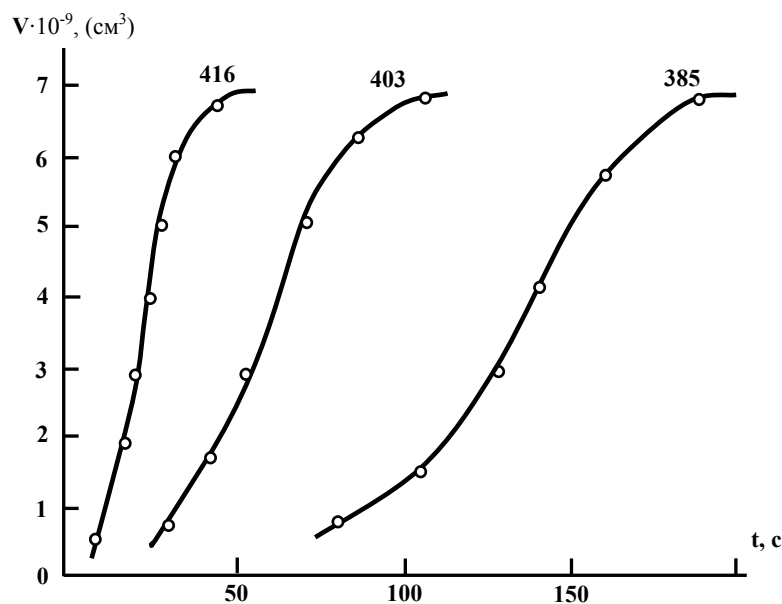


Рис. 2. Кинематические кривые кристаллизации аморфных пленок $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$.

Сопоставление этих изотерм с аналитическим выражением кинетических кривых фазовых превращений [6]

$$V_t = V_0 [1 - \exp(-kt^m)] \quad (2)$$

показало, что лучшее совпадение имеет место при $m \approx 4$ ($m=3.47; 3.59; 3.76$), величина m различна для возможных типов превращений и характеризует мерность роста кристалликов. В нашем случае происходит трехмерный рост кристалликов. Здесь V_t – объем закристаллизовавшегося вещества к моменту t , V_0 – объем аморфной фазы в начале процесса, где k – константа скорости реакции, равная $\frac{1}{3} \pi v_3 v_p^3$, v_3 – скорость возникновения зародышей новой фазы в единице непревращенного объема, v_p – линейная скорость роста кристалликов.

Известно, что v_3 и v_p подчиняются уравнению Аррениуса, тогда

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

где E_3 – энергия активации зародышеобразования, E_p – энергия активации роста кристалликов. График, показывающий зависимость $\ln K$ от обратной температуры кристаллизации, является линейным, и по наклону определяется энергия активации кристаллизации пленок $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$ (рис.3).

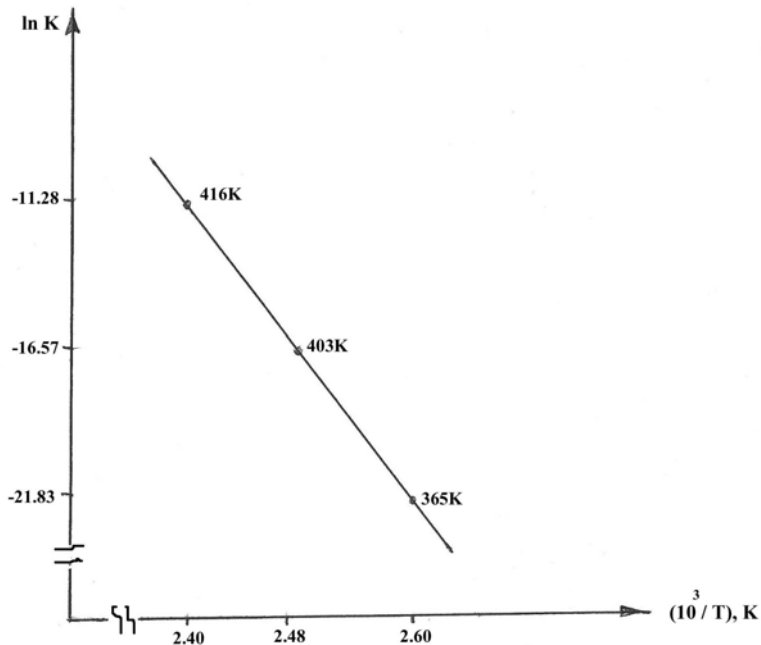


Рис.3. Зависимость $\ln K$ от температуры для кристаллизации аморфного $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$.

Было установлено, что на изменение параметров решетки и энергии активации кристаллизации влияет значение X , характеризующее количество атомов Ge.

Общая энергия активации кристаллизации аморфных пленок оказалась равной 54.4 ккал/моль. Фазовые превращения из одной модификации в другую во многом аналогичны переходу из твердого состояния в жидкое и, наоборот. При этом переход из одной модификации в другую происходит в результате возникновения и роста зародышей фазы новой модификации в объеме исходной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгобиани А.Н., Матиев А.Х., Хамхоев Б.М., Евлоев А.М. // РАН Не орг. матер, 41, 148, 2005, с.148-150.
2. Мальсагов Ах.У. Обзор литературы по полупроводниковым соединениям типа $A^IVB^III C_2^{IV}$, $TlB^III C_2^{IV}$, Нальчик: ЭЛЬ-ФА, 2007, с. 694.

3. Durny R., Hill A.E., Tomlinson R.D. Thin Solid Films, 69, 1980, p. 42.
4. Алекперов Э.Ш., Шарифова А.К., Исмаилов Д.И. РАН Кристаллография, 54, 550, 2009, с. 550-553.
5. Кулешов В.Ф., Кухаренко Ю.А. и др. Спектроскопия и дифракция электронов при исследовании поверхности твердых тел. М.: Наука, 1985, с. 274.
6. Вайнштейн Б.К. Структурная электронография. М.: АН СССР, 1956, с. 316.

TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ NAZİK TƏBƏQƏSİNDƏ FAZA KEÇİDİNİN KİNETİKASI

E.Ş.ƏLƏKBƏROV, E.S.QARAYEV, C.İ.İSMAYILOV

XÜLASƏ

Elektronoqrafiya üsulu ilə 30 nm qalınlığında olan TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ (0.02<x<0.05) amorf təbəqədə faza keçidinin kinetikasi tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, Ge atomları, sözü gedən nazik təbəqədə faza keçidinin temperaturuna təsir edir. Faza keçidinin kinetik əyrilərinə və qrafiklərinə istinadən rüşeymin yaranması və böyüməsinin aktivləşmə enerjisinin ədədi qiyməti təyin edilmişdir.

THE KINETICS OF PHASE TRANSFORMATIONS IN THIN TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ FILMS

E.Sh.ALAKBAROV, E.S.GARAYEV, J.İ.İSMAYILOV

SUMMARY

The article investigates the kinetics of the phase transformations of the amorphous films of TlGa_{1-x}Ge_xTe₂ (0.02<x<0.05) with the thickness of 30 nm by the method of kinematic electron diffraction study. The influence of Ge atoms on the temperature of phase transitions is established. The values of the energies of the activations of nuclei formation and growth are determined according to the kinetic curves of phase transformations.