

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 5, стр. 304 – 307 5 сентября 1974 г.

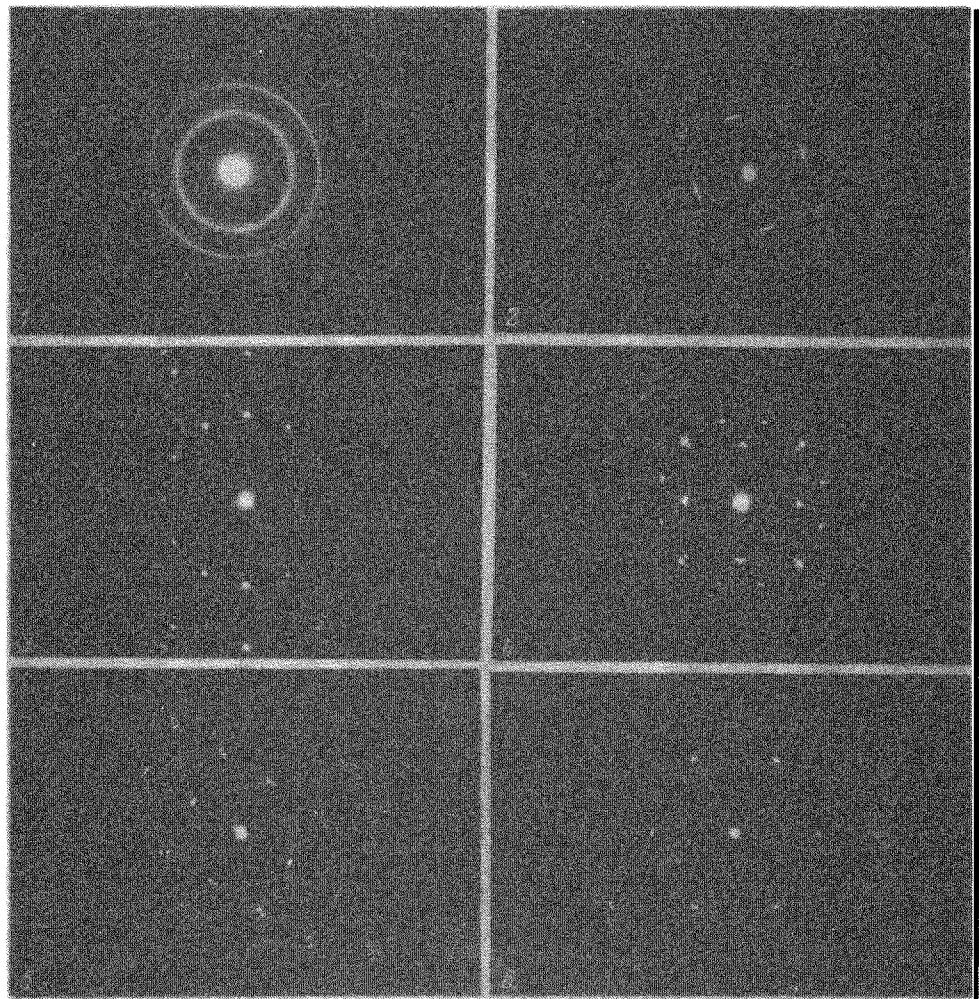
ОРИЕНТИРОВАННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

*Ю.А. Быковский, А.Г. Дудоладов, В.П. Козленков,
П.А. Леонтьев*

В работе приводятся данные по осаждению тонких пленок теллурида висмута с помощью оптического квантового генератора, работавшего в режиме модулированной добротности. Плотность потока энергии на поверхности мишени была $\sim 10^9 \text{ ет}/\text{см}^2$. Температура подложек NaCl и слюды варьировалась от 20 до 350°C . Показана возможность управления степенью структурного совершенства напыляемых пленок даже при скорости конденсации $\sim 10^{10} \text{ \AA}/\text{сек}$. Получены пленки со структурой мозаично-го монокристалла.

Возможность получения поликристаллических пленок полупроводниковых соединений при лазерном испарении обсуждалась в ряде работ [1 – 3]. Однако, нам не известно публикаций, посвященных эпитаксиальному полупроводниковым пленкам, полученным с помощью лазера.

Нами изучалась структура тонких пленок, осажденных с помощью ОКГ, работавшего в режиме модулированной добротности. В качестве мишней использовались образцы соединения Bi_2Te_3 . Подложками служили свежие сколы природной каменной соли и пластинки слюды (мусковита). Температура подложек t_s варьировалась от 20 до 350°C . Давление в вакуумной камере поддерживалось на уровне $\sim 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$. Плотность потока излучения на поверхности мишени была $\sim 10^9 \text{ ет}/\text{см}^2$. Подложки помещались на расстоянии 25 мм от мишени. Толщина пленок, полученных за один импульс излучения, составляла несколько сотен ангстрем. Отделенные от соли и слюды пленки исследовались методом электронной дифракции на просвет в электронографе ЭГ-100А.



Электронограммы, полученные от пленок Bi_2Te_3 , осажденных на NaCl при различных температурах подложки: 1 – 20°C , 2 – 150°C , 3 – 250°C , 4, 5 – 300 – 350°C ; 6 – электронограмма, полученная от пленки Bi_2Te_3 , осажденной на слюду при 350°C

На рисунках 1–5 приведены электронограммы тонких пленок, осажденных на NaCl при различных температурах подложки. Для $t_s = 20^\circ\text{C}$ напыленные пленки Bi_2Te_3 имеют мелкодисперсную поликристаллическую структуру (рис. 1). Первые признаки текстурированности появляются при $t_s = 150^\circ\text{C}$. Кристаллники Bi_2Te_3 упорядочены в азимутальном направлении и располагаются плоскостями {10.5} параллельно плоскости подложки (рис. 2). При дальнейшем увеличении температуры подложки

наряду с улучшением структуры пленки наблюдается возникновение ориентации $\{00.1\} \text{Bi}_2\text{Te}_3 \parallel (100) \text{NaCl}$, постепенно вытесняющей ориентацию $\{10.5\}$. Нагрев подложки до 250°C позволяет получить эпитаксиальную пленку Bi_2Te_3 , ориентированную базисной плоскостью гексагональной решетки параллельно плоскости подложки (рис. 3).

В диапазоне $t_s = 300 - 350^\circ\text{C}$ вновь появляется конкуренция двух типов ориентации $\{10.5\}$ и $\{00.1\}$.

Точечные рефлексы, соответствующие как той, так и другой ориентации, на большинстве электронограмм присутствуют в равной степени (рис. 4).

В отдельных случаях в указанном диапазоне температур удается получить пленки только с одним типом ориентации $\{10.5\}$ (рис. 5). Кубическая сетка ярких точечных рефлексов показывает, что осажденная пленка имеет структуру мозаичного монокристалла с разориентацией блоков порядка нескольких градусов. Конкуренция двух типов ориентации объясняется, по-видимому, существованием двух основных факторов, определяющих формирование структуры напыляемых пленок: влиянием потенциального рельефа поверхности подложки NaCl , которое приводит к образованию псевдокубической ориентации $\{10.5\} \text{Bi}_2\text{Te}_3 \parallel (100) \text{NaCl}$, и анизотропией скорости роста микрокристалликов Bi_2Te_3 , способствующей образованию преимущественной ориентации $\{00.1\}$.

Общая закономерность улучшения структуры пленок с ростом температуры подложки сохраняется и при напылении на слюду. Из-за сходства симметрии кристаллических решеток Bi_2Te_3 и слюды наблюдается только один тип ориентации $\{00.1\}$. Наиболее совершенные эпитаксиальные пленки были получены при температуре 350°C (рис. 6).

Возникла вопрос: не является ли хорошая ориентация пленок следствием отжига лазерных конденсаторов из-за повышенной температуры подложки? Был проведен контрольный эксперимент. Пленка Bi_2Te_3 , напыленная на слюду при $t_s = 20^\circ\text{C}$, была нагрета до 350°C и подвергнута отжigu в течение времени, которое обычно затрачивалось на эксперимент с напылением на нагретые подложки. Эта пленка после отжига имела мелкодисперсную структуру, состоящую из беспорядочно ориентированных зерен. В то же время пленка, осажденная на нагретую до 350°C подложку, обладала ярко выраженной ориентацией. Таким образом, ориентация в пленке образуется именно в момент конденсации вещества.

По-видимому, эпитаксиальному росту тонких пленок при лазерном напылении способствует значительное энергетическое возбуждение атомов конденсирующегося пара. Атомам сообщается энергия активации, необходимая для возникновения цепной реакции кристаллизации [4]. Именно этим можно объяснить снижение на $100 - 150^\circ\text{C}$ температуры эпитаксии для ориентации $\{00.1\}$ на NaCl по сравнению с результатами, полученными для пленок Bi_2Te_3 обычными методами [5]. Кроме того, в условиях получения пленок с помощью лазера имеет место высокая степень пересыщения, когда зародышем критического размера может стать отдельный атом, что должно благоприятно сказаться на начальных стадиях роста [6]. В то же время, проведенное нами ис-

следование показывает, что даже при скоростях напыления $10^9 - 10^{10}$ Å/сек температура подложки остается одним из важнейших параметров конденсации.

Московский
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
10 июля 1974 г.

Литература

- [1] H.M.Smith, A.F.Turner. Appl. optics, 4, 147, 1965.
 - [2] P.D.Lavitsanos, W.E.Sauer. J.Electrochem. Soc., 115, 109, 1968.
 - [3] V.S.Ban, D.A.Kramer. J. Mater. Sci., 5, 978, 1970.
 - [4] В.И.Петросян, Э.И.Дагман. Сб. Проблемы эпитаксии полупроводниковых пленок. Новосибирск, изд. Наука, 1972, стр. 173.
 - [5] М.Х.Франкомб и др. Сб. Монокристаллические пленки. М., изд. Мир, 1966, стр. 136.
 - [6] Т.Н.Родин, Д.Уолтон. Сб. Монокристаллические пленки. М., изд. Мир, 1966, стр. 51.
-