

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГАЗОВУЮ
ФАЗУ В ПРОЦЕССЕ ЭПИТАКСИИ ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

Г. А. Каложная, В. Г. Кожухов, Т. С. Мамедов,
Н. Н. Сентюрина

УДК 620.192.3

Экспериментально обнаружено явление фотодиссоциации теллурида свинца в процессе его осаждения под влиянием света с $\lambda \leq 0,45$ мкм. Фотодиссоциация в газовой фазе вблизи поверхности роста и на самой поверхности роста играет существенную роль в ускорении роста эпитаксиальных слоев теллурида свинца.

В последние годы большое внимание уделяется изучению возможностей нетермического стимулирующего воздействия излучения на процесс роста кристаллов. В работе /1/ было показано, что воздействие электромагнитного излучения оптического диапазона на процесс роста из газовой фазы эпитаксиальных слоев узкозонных полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ и $A^{III}B^{VI}$ приводит к ряду положительных эффектов: увеличению скорости роста слоев (на порядок) и к снижению плотности дислокаций в выращенных слоях (на порядок) по сравнению с подложкой. Для объяснения указанных эффектов нами были предложены некоторые возможные механизмы влияния излучения на процессы, происходящие как в газовой фазе, так и на поверхности роста во время фотостимулированной эпитаксии.

Как показало экспериментальное исследование кинетики роста из газовой фазы монокристаллических эпитаксиальных слоев $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ при воздействии светом ксеноновой лампы ($\lambda = 0,25 - 1,5$ мкм), основную роль в ускорении роста слоев играет УФ часть излучения, увеличивая скорость роста слоев от 0,2 мкм/мин до 2,2 мкм/мин /2/. Было предположено, что ультра-

40

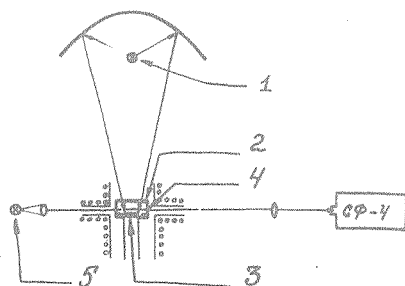
фиолетовая часть излучения может вызывать фотодиссоциацию молекул PbTe и Te_2 с образованием в газовой фазе свободных атомов свинца и теллура, участвующих в процессе кристаллизации (для Te_2 $E_{\text{дис}} = 2,8$ эВ, для PbTe $E_{\text{дис}} = 2,7$ эВ). Расчет показал, что наличие уже $\sim 1\%$ свободных атомов в газовой фазе вблизи поверхности растущего слоя обеспечивает безбарьерный характер роста слоев в типичных условиях эксперимента, то есть процесс проходит без энергии активации, необходимой для диссоциации молекул в условиях отсутствия фотовозбуждения.

В настоящей работе с целью экспериментальной проверки предложенной модели безбарьерного роста и прямого подтверждения фотодиссоциации молекул PbTe и Te_2 было проведено исследование состава газовой фазы во время роста слоев теллурида свинца на подложках [III] BaF_2 в условиях, близких к термодинамическому равновесию, при воздействии ксеноновой лампы и без нее. Состав газовой фазы исследовали с помощью измерения оптической плотности паров молекул PbTe и Te_2 /3,4/.

Твердый теллурид свинца в равновесии с газовой фазой является весьма удобным объектом для исследования механизмов влияния излучения на процессы роста, так как соединение PbTe устойчиво в газовой фазе; тогда общее давление пара в системе $P = P_{\text{PbTe}} + P_{\text{Te}_2}$. Величиной давления пара металла ввиду его малой летучести мы можем пренебречь. Давление пара P_{PbTe} над твердым PbTe с областью существования ~ 1 ат. % постоянно, а давление теллура увеличивается и его следует учитывать только для составов, сдвинутых от стехиометрического в сторону обогащения теллуром.

Экспериментальная установка, позволившая исследовать газовую фазу во время эпитаксии PbTe , показана на рис. 1. Излучение от лампы ДСКР-3000 проходило в ростовой аппарат сверху, через окно 2, освещая газовую фазу и подложку 3, а через боковое окно 4 пропускали свет лампы накаливания 5 спектрофотометра СФ-4. Опытным путем было установлено, что рассеянный свет от источника ксеноновой лампы, попадающий в спектрофотометр, не увеличивает обычную ошибку определения ($\pm 1\%$ от измеряемой величины).

Предварительно в вакуумированном ростовом аппарате были

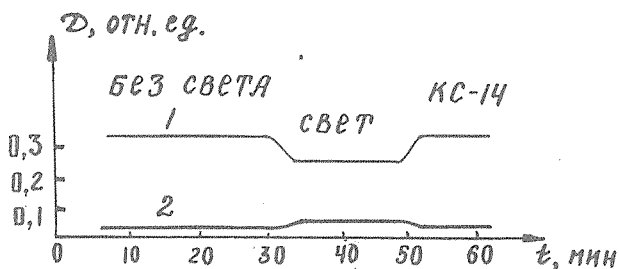


Р и с. I. Схема экспериментальной установки для исследования влияния светового излучения на состав газовой фазы: 1 - источник излучения - ксеноновая лампа (ДКСР-3000); 2 - верхнее кварцевое оптическое окно в ростовом аппарате; 3 - подложка BaF_2 ; 4 - боковые оптические окна в ростовом аппарате; 5 - спектрофотометр СФ-4

сняты спектры поглощения насыщенных паров RbTe над твердым RbTe и Te_2 над твердым Te в интервале длин волн $0,3 - 0,7$ мкм и подтверждено, что максимумы поглощения для газообразных RbTe и Te_2 лежат при $0,33$ мкм и $0,41$ мкм соответственно. Расчеты парциальных давлений паров RbTe и Te_2 над твердым RbTe проводились по эмпирической формуле $P = \tau D/L$ /3/, где τ - коэффициент пересчета, D - оптическая плотность, L - расстояние между боковыми окнами ростового аппарата (рис. I).

Коэффициент τ мы рассчитывали, используя уравнения температурной зависимости давлений насыщенных паров RbTe (в интервале температур $500 - 800$ °C) /5/ и Te_2 (в интервале температур $600 - 900$ °C) /6/ и экспериментально измеряемые оптические плотности паров D в указанных интервалах температур.

В ростовой аппарат для эпитаксии помещали источник RbTe и подложку и оптимизировали параметры процесса для обеспечения условий роста, максимально приближенных к равновесным, и получения совершенных монокристаллических слоев. После выхода на рабочий режим эпитаксии непрерывно вели запись спектров поглощения молекул RbTe и Te_2 . Первые 30 минут процесс проводили без облучения, а затем, не прерывая роста, включали источник - ксеноновую лампу, излучающую свет от $0,25$ до $1,2$ мкм.



Р и с. 2. Изменение оптической плотности паров PbTe (1) и Te_2 (2) в ростовом аппарате в зависимости от условий облучения ксеноновой лампой в процессе эпитаксии PbTe .

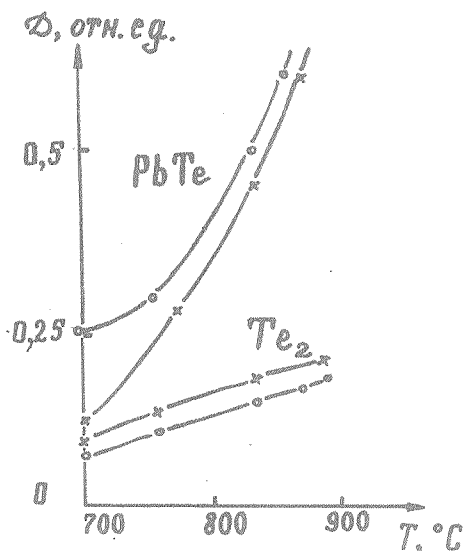
Через 30 мин изменяли спектральный состав излучения лампы путем применения светового фильтра КС-14, пропускающего свет от 0,62 до 1,2 мкм. На всех этапах процесса роста температуры подложки и источника, измеряемые непосредственно во время опыта, поддерживались одинаковыми независимо от условий облучения. Экспериментальные результаты приведены на рис. 2 и в табл. I.

Таблица I

Изменение давлений при освещении, $T = 800^\circ\text{C}$

Te_2 над PbTe				PbTe над PbTe			
без освещения (P_1), тор	при освещении (P_2), тор	$\Delta P = P_2 - P_1$	$\Delta P/P_1, \%$	без освещения (P_3), тор	при освещении (P_4), тор	$\Delta P = P_4 - P_3$	$\Delta P/P_3, \%$
0,644	0,708	0,064	10	0,424	0,347	-0,077	-18

Из приведенных данных видно, что оптическая плотность паров PbTe уменьшалась сразу после включения лампы и восстанавливалась до прежней величины, когда фильтром вырезали коротковолновую часть спектра. Одновременно наблюдалось увеличение поглощения паров теллура, что связано с накоплением теллура в результате фотодиссоциации $\text{PbTe} \xrightarrow{h\nu} \text{Pb} + \text{Te}$.



Р и с. 3. Температурная зависимость оптической плотности паров молекул RbTe и Te_2 над твердым $p\text{-RbTe}$ в условиях эпитаксии со светом (x) и без света (o)

Исследование температурных зависимостей оптических плотностей паров RbTe и Te_2 в диапазоне $700 - 870^\circ\text{C}$ показало, что особенно заметно действие света на изменение состава газовой фазы при низких температурах роста (см. рис. 3); так, при 700°C уменьшение количества молекул RbTe достигает 27%, обеспечивая безбарьерный рост уже при этой температуре.

Необходимо отметить, что на спектрах оптического поглощения RbTe и Te_2 во всем интервале длин волн от 0,3 до 0,7 мкм не было зафиксировано никаких дополнительных максимумов, кроме отвечающих молекулам RbTe и Te_2 . Указанный факт объясняет, почему использование в реакционной системе светового облучения понижает температуру эпитаксии [2].

Таким образом, полученные результаты экспериментально доказывают наличие фотодиссоциации молекул RbTe , возникающей под влиянием ультрафиолетовой и видимой части света с длиной волны $\leq 0,45$ мкм. Фотодиссоциация в газовой фазе вблизи поверхности

роста и на самой поверхности роста играет существенную роль в ускорении роста эпитаксиальных слоев PbTe.

Поступила в редакцию
27 октября 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. М. Гуро и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, № II, 27 (1978).
2. Г. М. Гуро и др., ЛЭТЕ, 77, вып. 6 (12), 2366 (1979).
3. P. F. Brebner, A. J. Strauss, J. Chem. Phys., 40, N11, 3240 (1964).
4. Ю. И. Горина и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, № II, 24 (1975).
5. D. A. Hortrop, J. Electrochem. Soc. Solid State Sci., 116, N 8, 1365 (1971).
6. А. А. Кудрявцев, Г. П. Усюгов, ЛНХ, VI, вып. II, 2421 (1961).