

## ОСЦИЛЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ РОСТА ПЛЕНОК Ge ПРИ ЭПИТАКСИИ ИЗ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПУЧКА

*Л.В.Соколов, М.А.Ламин, В.А.Марков, В.И.Машанов,  
О.П.Пчеляков, С.И.Стенин*

Методом отражательной автоматической эллипсометрии обнаружен новый эффект – осцилляции оптических характеристик поверхностного слоя в процессе эпитаксии германия из молекулярного пучка. Период осцилляций совпадает с временем образования слоя двухатомной толщины.

В работах <sup>1-3</sup> наблюдалось периодическое изменение интенсивности рефлексов при дифракции электронов на отражение (ДЭО) от поверхности монокристаллических пленок во время их выращивания методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Этот эффект в настоящее время связывают с периодическим изменением рельефа поверхности при росте по двумерному механизму вследствие чередования процессов зарождения и срастания двумерных зародышей.

В настоящей работе с помощью автоматической эллипсометрии были обнаружены осциллирующие изменения оптических характеристик поверхности роста при МЛЭ германия.

Эксперименты выполнялись на установке МЛЭ<sup>4</sup>, снабженной электронной пушкой для ДЭО и лазерным автоматическим эллипсометром (длина волны — 632,8 нм). На подложки GaAs с ориентацией  $100 \pm 20'$  после очистки поверхности прогревом в сверхвысоком вакууме ( $10^{-7} \div 10^{-8}$  Па) наращивался слой Ge толщиной 200 нм. Поглощение света в таком слое достаточно велико для устранения заметного влияния подложки на поляризацию отраженного света. Перед каждым экспериментом по наблюдению осцилляций проводился отжиг при  $T \cong 500^\circ\text{C}$  в течение 10 мин для восстановления исходных оптических свойств поверхности. После этого устанавливалась требуемая температура роста ( $T_p$ ) и начинался рост пленки, в процессе которого регистрировались изменения эллипсометрических углов или интенсивность рефлексов на картине ДЭО. Эллипсометрические углы  $\Delta$  и  $\Psi$  периодически изменяются во время роста (рис. 1). Увеличение скорости роста за счет повышения температуры источника ( $T_{ист}$ ) сокращает период осцилляций. Интерферометрические измерения высоты ступени пленка-подложка при больших временах роста и данные рис. 1 позволяют определить изменение толщины пленки за один период осцилляции  $\Delta$  и  $\Psi$ . Для обеих  $T_{ист}$  оно составляет  $a/2 (\pm 1,5\%)$ , где  $a = 3,56$  нм — параметр решетки германия. Монотонное уменьшение угла  $\Delta$  можно объяснить нагревом образца излучением молекулярного источника, что согласуется с известной зависимостью  $\Delta$  от температуры для германия с атомарно-чистой поверхностью. Наблюдаемое на кривых затухание колебаний связано, по-видимому, с установлением стационарного рельефа в процессе роста.

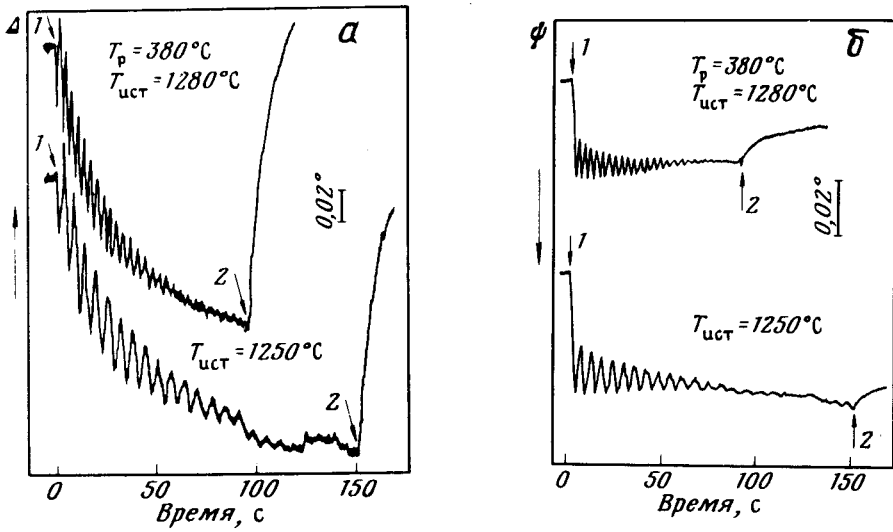


Рис. 1. Зависимости эллипсометрических углов  $\Delta$  (а) и  $\Psi$  (б) от времени роста: 1 — начало, 2 — конец роста

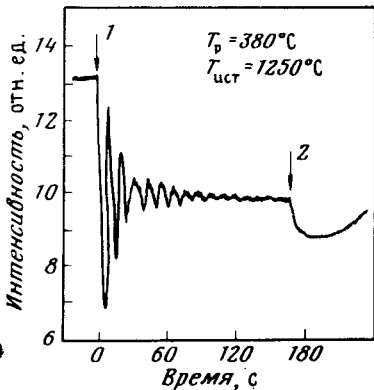


Рис. 2. Зависимость интенсивности рефлекса (00) от времени роста: 1 — начало, 2 — конец роста

Интенсивности рефлексов на картине ДЭО также осциллируют во время роста (рис. 2). Сопоставление рис. 1 и 2 и учет разницы в скорости роста при дифракционных и эллипсометрических измерениях вследствие разного расстояния источник пара Ge — подложка позволили установить, что период осцилляций при ДЭО также равен времени роста слоя толщиной  $a/2$ . Полное совпадение условий (температура подложки, скорость роста), при которых наблюдались осцилляции эллипсометрических углов и интенсивности дифракции электронов, свидетельствует о единой причине этих явлений.

Эффект осцилляции оптических характеристик поверхности позволяет исследовать поверхностные реакции, протекающие с образованием двумерных зародышей (рост кристаллов, их растворение, окисление и т.д.), методом автоматической эллипсометрии в условиях, когда метод ДЭО не применим (изменение материала под электронным пучком, проведение процесса в плотной для электронного пучка среде, рост пленки диэлектрика и т.д.).

Авторы благодарны Ю.А.Блюмкиной за помощь в подготовке аппаратуры автоматизации эллипсометрических измерений к проведению экспериментов.

#### Литература

1. Neave J.H., Joyce B.A., Dobson P.J., Norton N. Appl. Phys., 1983, A31, 1.
2. Sakomoto T., Kawai N.J., Nakagawa T., Ohta K., Kojima T. Appl. Phys. Lett., 1985, 47, 617.
3. Aarts J., Gerits W.M., Larsen P.K. Appl. Phys. Lett., 1986, 48, 931.
4. Архипенко А.В., Блюмкина Ю.А., Ламин М.А., Пчеляков О.П., Соколов Л.В., Стенин С.И., Козлов Н.И., Крошков А.А. Поверхность. Физика, Химия, Механика, 1985, 1, 93.

Институт физики полупроводников  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
31 июля 1986 г.