

ОСОБЕННОСТИ ФОТОСТИМУЛИРОВАННОГО ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА СЛОИСТОГО СОЕДИНЕНИЯ GaSe

О.В. Александров, Ю.И. Горина, В.В. Зайцев, Г.А. Калюжная, К.В. Киселева

Структурные и оптические свойства монокристаллических слоев GaSe, выращенных методом фотостимулированной эпитаксии на подложках из кварца и кремния, сопоставлены со свойствами монокристаллов GaSe. Показано, что эпитаксиальный рост монокристаллических слоев GaSe является примером ван-дер-ваальсовой эпитаксии.

Слоистые полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^{VI}$ перспективны для микроэлектроники, так как обладают инертной поверхностью, без "оборванных" связей и с малым числом поверхностных состояний /1, 2/. Для такой поверхности характерны слабая адсорбция примесей и малая скорость поверхностной рекомбинации. Эти свойства слоистых соединений позволяют надеяться на изготовление гетероструктур и МДП-структур на их основе, обладающих резкой и свободной от дефектов границей раздела /3/.

К настоящему времени опубликовано большое число работ по выращиванию объемных кристаллов слоистых соединений типа $A^{III}B^{VI}$, однако сведения по выращиванию эпитаксиальных слоев и гетероструктур на их основе отсутствуют.

В настоящей работе получены и исследованы структурные и оптические характеристики эпитаксиальных слоев GaSe. Для сравнительного анализа свойств слоев и кристаллов селенида галлия последние выращивали из газовой фазы в том же температурном интервале, что и слои.

Монокристаллы представляли собой свободно выросшие тонкие (0,1 – 1 мкм) пластинки с кристаллографической ориентацией (0001). Рентгенодифракционным методом их кристаллическая структура была идентифицирована как гексагональная двуслойная β -модификация GaSe с параметром $c = 15,9460 \pm 0,0002 \text{ \AA}$. По литературным данным, centrosymmetric β -фаза GaSe кристаллизуется редко, встречаясь, главным образом, среди кристаллов, выращенных газотранспортным методом /4/.

Слои GaSe получены в условиях фотостимулированного роста при плотности излучения ксеноновой лампы в зоне роста $\sim 10 \text{ Вт/см}^2$. Подложками являлись: пластины монокристаллического Si с ориентацией (111) и (100); пластины Si (100), покрытые слоем SiO_2 толщиной 1000 \AA , и пластины плавного кварца.

Рентгеноструктурные исследования показали, что монокристаллические эпитаксиальные слои GaSe имеют, независимо от природы и кристаллографической ориентации подложек, гексагональную структуру и кристаллографическую ориентацию (0001). Установлено, что монокристаллический рост реализуется в узком интервале температур подложек от 795 до 810 $^\circ\text{C}$, выше и ниже которого происходит поликристаллический рост. Монокристаллические слои на подложках из плавного кварца, полученные при градиенте температур между источником и подложкой $\Delta T = 20 \text{ K}$, имели политипную структуру, состоящую из β - и ϵ -модификаций с преобладающим содержанием β -фазы. При уменьшении пресыщения в зоне роста путем снижения величины ΔT до 5 $^\circ\text{C}$ и менее в условиях фотостимуляции процесса роста впервые удалось вырастить монокристаллические слои GaSe как β -, так и ϵ -модификаций на аморфных подложках плавного кварца и оксида кремния $\alpha\text{-SiO}_2/\text{Si}$ (100). При выращивании на кристаллическом кремнии монокристаллические слои GaSe выросли лишь на подложках Si (111), в то время как на подложках Si (100) в тех же условиях ($\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) получали поликристаллические покрытия. Это объясняется тем, что в кристаллической решетке Si только в плоскостях (111) атомы располагаются по закону гексагональной упаковки и кратчайшее расстояние между атомами в этой плоскости (3,831 \AA) близко к расстояниям между атомами Ga (Se) в базисной плоскости GaSe (3,755 \AA).

Проведено исследование оптических спектров пропускания слоев и монокристаллов GaSe при комнатной температуре. В спектрах слоев удалось зарегистрировать поглощение, обусловленное прямым экситоном

GaSe, причем область поглощения совпала с областью экситонного поглощения монокристаллов GaSe. Отличие спектров пропускания монокристаллов и слоев состояло в том, что в слоях, во-первых, не наблюдался четкий максимум поглощения и, во-вторых, с длинноволновой стороны наблюдался "хвост" поглощения. Эти два обстоятельства указывали на наличие в слоях упругих напряжений. С целью проверки этого предположения были выполнены измерения угловых полуширин рентгенодифракционных рефлексов эпитаксиальных слоев и монокристаллов. По результатам измерений были рассчитаны элементы субструктуры эпитаксиальных слоев и монокристаллов — размеры областей когерентного рассеяния L_n вдоль кристаллографической оси шестого порядка и величины относительной деформации $\epsilon_n = \Delta d/d$ кристаллографических плоскостей (000l) в том же направлении (табл. 1). Анализ результатов показал, что выращенные β -монокристаллы и $\beta + \epsilon$ -политипные монокристаллические слои GaSe обладают по сравнению с ϵ -монокристаллами меньшими размерами областей когерентного рассеяния и большими величинами упругой деформации кристаллической решетки. Из приведенных в табл. 1 данных следует также, что структурное совершенство каждой из фаз политипного слоя выше, чем у β -монокристалла: примерно в 2 раза больше размеры областей когерентного рассеяния и в 2 раза меньше величины упругой деформации решетки. Это означает, что при кристаллизации centrosymmetric фазы β -монокристалла возникают сильные напряжения кристаллической решетки; в случае же политипного чередования β - и ϵ -фаз упругие деформации снижаются.

Таблица 1

Структурные характеристики монокристаллов селенида галлия и эпитаксиальных слоев на подложке из плавленого кварца

Образец	Структурный тип	Параметр $C, \text{Å}$	Параметры субструктуры	
			$L_n, \text{Å}$	$\epsilon_n = \Delta d/d$
Монокристалл	ϵ -монокристалл	15,951	$1,04 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Эпитаксиальный слой	β -монокристалл	15,957	$3,8 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	$\beta + \epsilon$ -политип	β -фаза 15,955	$5,8 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
	$\beta : \epsilon = 2,5 : 1$	ϵ -фаза 16,002	$5,8 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^{-3}$

Сопоставление результатов исследования структурных и оптических свойств слоев и монокристаллов GaSe позволяет сделать вывод о том, что размытие поглощения эпитаксиальных слоев действительно обусловлено неоднородными упругими напряжениями кристаллической решетки.

Изученный в настоящей работе процесс эпитаксии GaSe является типичным примером ван-дер-ваальсовой эпитаксии, в которой в значительной мере снимается проблема согласования параметров кристаллических решеток слоя и подложки, существующая при выращивании гетероструктур из традиционных полупроводников (Si, Ge, GaAs и т. д.). Это позволяет надеяться на изготовление резких и свободных от дефектов гетероструктур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Daniels R. R. et al. Solid State Commun., 51, 495 (1984).
2. Roma A., Yoslimura K. Surface Science, 174, 556 (1986).
3. Курбатов Л. Н. и др. Письма в ЖТФ, 4, 1110 (1978).
4. Беленький Г. Л., Стопачинский В. Б. УФН, 140, 233 (1983).

Поступила в редакцию 6 декабря 1988 г.