

08:12
©1993

СВОЙСТВА СЛОЕВ GaAs, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ С СОХРАНЕНИЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ (2×4) И (3×1)

*Г.М.Гурьянов, Н.Н.Леденцов, В.Н.Петров,
Ю.В.Самсоненко, Г.Э.Цырлин, А.Г.Филаретов*

На оптические и электрофизические свойства полупроводниковых соединений, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ), решающее влияние оказывают условия роста [1,2]. Традиционно сопоставление качества получаемых слоев и структур производят на основе результатов измерения подвижности и концентрации носителей заряда методом ван дер Пау [3], спектров фотолюминисценции (ФЛ) и возбуждения ФЛ [4]. Получаемые результаты приводятся обычно в виде зависимостей измеряемых параметров от температуры подложки (T_s), либо от соотношения потоков элементов, поступающих на поверхность подложки при МПЭ росте (так, в случае выращивания соединений A_3B_5 соотношения потоков элементов V и III групп — J_V/J_{III}) и скорости роста. Известно, что параметры структур, используемых в приборах с квантово-размерными эффектами, зависят от типа сверхструктуры на поверхности, которая существовала во время роста. Однако в литературе отсутствуют результаты, непосредственно подтверждающие зависимость свойств эпитаксиальных слоев от типа поверхностной реконструкции. Настоящая работа посвящена исследованию оптических и электрофизических свойств автоэпитаксиального GaAs, полученного при двух различных поверхностных сверхструктурах (2×4) и (3×1).

Экспериментальные образцы были выращены на установке ЭП-1203, оборудованной шлюзом для загрузки образцов, камерой перезарядки и ростовой камерой, рабочий объем которой окружен криопанелью, охлаждаемой жидким азотом. Давление остаточной атмосферы в ростовой камере после прогрева установки было менее $1 \cdot 10^{-8}$ Па, во время роста $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ Па.

Выращивание эпитаксиальных слоев проводилось на полупроводниковых подложках GaAs (100), разориентированных по направлению к (110) на 3° . Методика подготовки

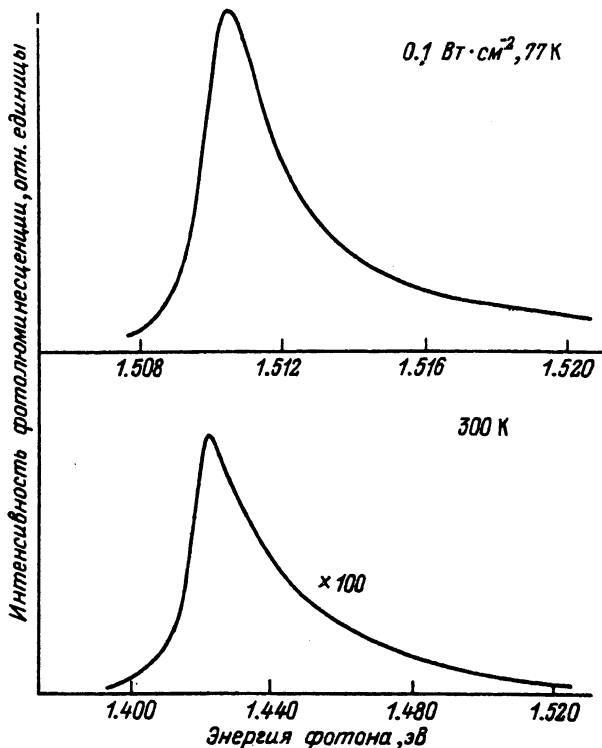
подложек сводилась к пердварительной очистке органическим растворителем, обезжириванию пластины в кипящем толуоле и адетоне (по три раза), а затем в парах адетона, полирующему травлению в составе $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$ (5:1:1) и сушке в атмосфере азота. Далее подложка наклеивалась в атмосфере сухого азота с помощью индия чистоты 7N к молибденовому держателю и через шлюз переносилась в камеру перезарядки установки ЭП-1203. Удаление окисного слоя с поверхности GaAs проводилось в ростовой камере при температуре подложки $\sim 580^\circ C$ в потоке As_4 , открытие заслонки источника As производилось при $T_s \approx 500^\circ C$.

При выращивании GaAs были использованы элементарный поликристаллический мышьяк "Super Ars" 7N производства МВП "Арстех" и металлический галлий 7N производства АО "Жест". Измерения подвижности и концентрации носителей заряда проводились на нелегированных слоях GaAs толщиной 7 мкм, выращенных в условиях существования сверхструктур (2×4) и (3×1). Скорость роста в обоих случаях составляла 1.1 мкм/ч. Структуры для измерения спектров ФЛ состояли из буферного слоя GaAs (1.5 мкм), слоя $Al_xGa_{1-x}As$ (300 Å, $x = 0.3$), исключающего возможность диффузии и дрейфа неравновесных носителей в полуизолирующую подложку с высокой концентрацией глубоких примесей (Cr), собственно слоя нелегированного GaAs (в реконструкции (2×4) или (3×1), 1.5 мкм), слоя $Al_xGa_{1-x}As$ (300 Å, $x = 0.3$), служащего для исключения влияния поверхностной рекомбинации, и слоя GaAs (200 Å). Скорости роста в этих случаях для GaAs и AlGaAs равнялись 0.8 мкм/ч и 1.2 мкм/ч соответственно. Температуры образцов во время каждого из экспериментов не изменялись и составляли $610^\circ C$ для (2×4) и $630^\circ C$ для (3×1), что соответствовало точкам на фазовой диаграмме вблизи границы перехода (2×4) \Leftrightarrow (3×1). Соотношение потоков $J_V/J_{III} = 1.5$ сохранялось неизменным при выращивании всех эпитаксиальных слоев.

Результаты измерений методом ван дер Пау показали, что нелегированный GaAs имел проводимость р-типа неза-

	$\mu_{300 K}$, см ² /В·с	$P_{300 K}^*$, см ⁻²	$\mu_{77 K}$, см ² /В·с	$P_{77 K}^*$, см ⁻²
GaAs (2×4)	240	$1.9 \cdot 10^{12}$	5000	$1.2 \cdot 10^{12}$
GaAs (3×1)	300	$9.1 \cdot 10^{11}$	5200	$7.9 \cdot 10^{11}$

* В таблице приведены поверхностные концентрации носителей, так как распределение примесей и носителей может быть неоднородным.



Спектры фотолюминесценции при 77 К (а) и 300 К (б) эпитаксиального слоя GaAs, выращенного с сохранением реконструкции поверхности (3×1).

висимо от типа сверхструктуры. Результаты измерений при использовании сплавных омических контактов приведены в таблице.

Спектры фотолюминесценции, измеренные при 77 и 300° К, приведены на рисунке. Для возбуждения фотолюминесценции был использован He-Ne лазер. Плотность возбуждения составила 0.1 Вт/см^2 . Полная ширина на половине высоты линий составила в обоих случаях $\leq 3.8 \text{ мэВ}$. Соотношение пиков интенсивностей для GaAs (3×1)/GaAs (2×4) $\simeq 4$. При плотностях возбуждения $\geq 10 \text{ Вт/см}^2$ излучательная рекомбинация была близка к 100%. Концентрация мелких доноров и акцепторов в обоих случаях при 77 К была оценена на уровне $\simeq 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Из приведенных результатов следует, что свойства GaAs различны при выращивании слоев в разных реконструкциях. При росте GaAs (3×1) отмечено улучшение как электрофизических, так и оптических параметров слоев. Это обстоятельство может быть использовано при выращивании гетероструктур, где в качестве составляющих элементов применяются слои GaAs и $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Действительно, температура роста при поверхностной реконструкции (3×1) в зависимости от скорости роста и соотношения потоков J_V/J_{III} для GaAs лежит в пределах $600-700^\circ\text{C}$. Поэтому для получения GaAs с высокими параметрами в структуре GaAs/AlGaAs отпадает необходимость в повышении температуры подложки при переходе к росту более температуростабильного $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, свойства которого оказываются существенно лучше при $T_s > 680^\circ\text{C}$ [5].

Таким образом, полученные нами предварительные результаты свидетельствуют о влиянии типа поверхностной реконструкции во время роста на оптические и электрофизические свойства автоэпитаксиального арсенида галлия. Свойства GaAs, выращенных при других поверхностных структурах, а также обсуждение возможных причин наблюдаемых зависимостей, будут опубликованы в дальнейшем.

В заключение авторы выражают благодарность Н.К.Полякову и В.Б.Губанову за помощь в проведении ротовых экспериментов и В.М.Устинову за измерение образцов методом ван дер Пау.

Список литературы

- [1] Weisbuch C., Dingle R., Petroff P.M., Gossard A.C., Wiegmann W. // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 38. N 11. P. 840-842.
- [2] Kudo K., Makita Y., Takavasu I., Nomura T., Kobayachi T., Izumi T., Matsumori T. // J. Appl. Phys. 1986. V. 56. N 3. P. 888-891.
- [3] Van der Pauw // Philips Tech. Rev. 1958/59. N 8. P. 220-228.
- [4] Reynolds P.C., Bajaj K.K., Litton C.W., Yu P.W., Singh J., Masselink W.T., Ficher R., Markoc H. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 1. P. 51-53.
- [5] Moison J.M., Houzay F., Barthe F., Gerard J.M., Jusserand B., Massies J., Turco-Sundroff F.S. // J. Cryst. Growth. 1991. V. 111. P. 141-150.

Институт аналитического
приборостроения РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
27 июля 1993 г.

Физико-технический институт
им.А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург