

06.2

© 1991

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СЛОИ $GaAs$
С ФОНОВЫМ АКЦЕПТОРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМТ.В. Е с и п о в а, Ю.В. Ж и л я е в,
А.Г. К е ч е к, Н.И. К у з н е ц о в,
Г.Р. М а р к а р я н, М.Г. М ы н б а е в а

Как известно из литературы [1, 2], намеренно не легированные (чистые) эпитаксиальные слои $GaAs$, выращенные в хлоридной системе, как правило, имеют p -тип проводимости. Ранее нами были получены чистые эпитаксиальные слои $GaAs$, выращенные на полуизолирующих подложках в хлоридной системе, с концентрацией мелких доноров менее 10^{13} см^{-3} [3]. Для наблюдения фотовозбуждения доноров в методе фотоэлектрической лазерной магнитоспектроскопии на большей части этих образцов была необходима межзонная подсветка [4], что указывало на преобладание в них акцепторов. Однако в работе [3] было показано, что концентрация мелких доноров в указанных образцах превышала концентрацию мелких акцепторов. Целью настоящей работы является разрешение этого противоречия.

Исследуемые нами эпитаксиальные слои были получены в открытой хлоридной системе в многокамерном реакторе по методике, описанной в [5]. Слои наращивались на n^+ -подложках, легированных Sn или Te и p^+ -подложках, легированных Zn . Перед наращиванием слоев проводилось полирующее газовое травление подложек на глубину нескольких микрон. Давление $AsCl_3$ в процессе роста варьировалось от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-2}$ ат. Температура роста менялась в пределах $690-745$ °C, а температура источника составляла $800-820$ °C. Во время роста нелегированных слоев в зону подложек подавался $AsCl_3$ в количестве примерно $10-20$ % от $AsCl_3$, проходящего над источником, что, согласно [1, 6], снижало активность примесей, образующих летучие хлориды. Применялись также специальные меры для уменьшения флуктуаций давления водорода. Все это позволило заметно снизить фоновую концентрацию мелкой легирующей примеси в эпитаксиальных слоях.

Нами проводились исследования глубоких центров в эпитаксиальных слоях $GaAs$ методами емкостной и токовой релаксационной спектроскопии ($C-DLTS$, $I-DLTS$) [7-9], позволившие выявить центры, наиболее типичные для газовой эпитаксии в хлоридной системе [10, 11]. В таблице представлены параметры глубоких центров, обнаруженных в исследуемых слоях. Первый столбец таблицы содержит спецификацию центров. Во втором и третьем столбцах таблицы приведены значения энергий ионизации и сечений

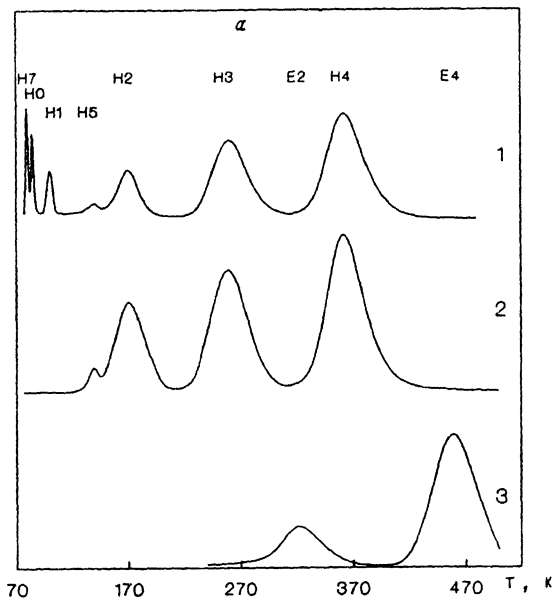
ЦП	<i>I</i> - <i>DLTS</i>		<i>C</i> - <i>DLTS</i>		Идентификация
	энергия (эВ)	сечение (см ²)	энергия (эВ)	сечение (см ²)	
E2	0.53	$3 \cdot 10^{-14}$	0.48	$4 \cdot 10^{-15}$	EL3
E4	0.85	$1 \cdot 10^{-12}$	0.79	$1 \cdot 10^{-13}$	EL2
HO	0.119	$5 \cdot 10^{-13}$	-	-	
H1	0.143	$3 \cdot 10^{-13}$	0.13	$2 \cdot 10^{-14}$	Cu_A
H2	0.312	$3 \cdot 10^{-12}$	0.3	$2 \cdot 10^{-13}$	HL12 [Zn]
H3	0.424	$1 \cdot 10^{-13}$	0.388	$4 \cdot 10^{-15}$	Cu_B
H4	0.58	$5 \cdot 10^{-15}$	0.52	$9 \cdot 10^{-15}$	HL3
H5	0.203	$2 \cdot 10^{-13}$	0.18	$5 \cdot 10^{-14}$	
H6	0.344	$1 \cdot 10^{-12}$	0.326	$1.5 \cdot 10^{-12}$	
H7	0.131	$1.5 \cdot 10^{-12}$	-	-	

захвата носителей заряда на глубокий центр, полученные методом *I* - *DLTS*, а в четвертом и пятом - те же параметры, полученные методом *C* - *DLTS*. В шестом столбце представлена идентификация глубоких центров по литературным данным. Различия в значениях параметров глубоких центров, полученные методами *C*- и *I*-*DLTS*, обусловлены условиями измерений. В методе *C* - *DLTS* нами использовался режим постоянной емкости. В этом режиме ширина слоя объемного заряда (СОЗ) не меняется в процессе измерений и с изменением температуры. В методе *I* - *DLTS* ширина СОЗ значительно меняется, что приводит к систематической экспериментальной ошибке.

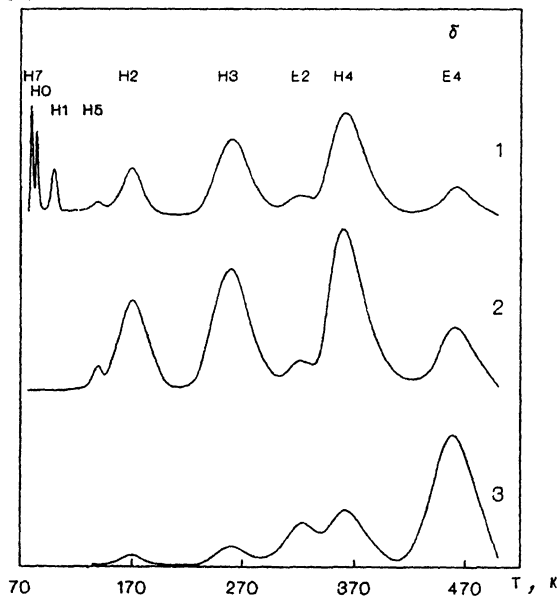
Чистые слои, выращенные на p^+ -подложках, имели три характерные особенности. Во-первых, только в них наблюдался глубокий акцептор H6. Во-вторых, концентрация глубокого акцептора H2 в них заметно возрастала по мере приближения к подложке. Это позволяет предположить, что оба центра, скорее всего, связаны с диффундирующими из p^+ -подложки примесями. Наконец, в-третьих, тонкие слои (менее 25 мкм) имели p -тип проводимости, а начиная с 25 мкм рос i -слой. Это обстоятельство, кстати, подтверждает заметное влияние диффузии из подложки на свойства нелегированных слоев, растущих на p^+ -подложках. Суммарная концентрация глубоких акцепторов в этих слоях обычно не превышала $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$

Образцы, выращенные на p^+ подложках, можно было разделить на две группы. К первой группе мы отнесли те, в которых наблюдались глубокие акцепторы HO, H7, H1, а ко второй те, в которых эти центры не были обнаружены. Спектры низкотемпературной ($\sim 4 \text{ K}$) фотолуминесценции и спектры фотовозбуждения доноров

ΔI (отн. ед.)



ΔI (отн. ед.)



в методе фотоэлектрической лазерной магнитоспектроскопии этих слоев аналогичны спектрам эпитаксиальных слоев, выращенных на i -подложках [3, 4], а концентрации мелких доноров и акцепторов в них не превышали 10^{14} см^{-3} , причем мелкие доноры доминировали.

Высокочастотная емкость образцов первой группы при температурах выше 150–170 К не зависела от зондирующей частоты, а исследование их вольтфарадных характеристик при комнатной температуре показало, что концентрация ионизованной примеси в них была $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. При этом зависимость $1/C^2$ от обратного напряжения оставалась практически линейной, а напряжение емкостной отсечки составляло 1.2 В для р-п - переходов и 0.7 В для диодов Шоттки. При температурах ниже указанных высокочастотная емкость становилась частотнозависимой. Максимальные концентрации каждого из относительно „мелких“ акцепторов Н0, Н7, Н1 были $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$, а суммарная концентрация всех глубоких акцепторов - $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Это соответствует концентрации ионизованной примеси, полученной из вольтфарадных характеристик при комнатной температуре.

Эпитаксиальные слои имели р-тип проводимости, обусловленный не мелкой легирующей примесью, а наличием акцепторов Н0, Н7, Н1. Тип проводимости определялся по знаку сигнала $C-DLTS$, связанного с перезарядкой одного из характерных глубоких центров (Е4, Н2, Н3, Н4).

Высокочастотная емкость образцов второй группы была частотнозависимой, а их базовые области обладали полуизолирующими свойствами уже при комнатной температуре, поэтому проведение высокочастотных емкостных измерений на них физически некорректно, и для их исследования использовался только метод $I-DLTS$. Доминирующими по концентрации в них являлись глубокие акцепторы Н2, Н3, Н4 и глубокий донор Е4. При подаче на образцы инжектирующих импульсов в спектрах $I-DLTS$ проявляются пики как от акцепторных, так и от донорных центров (см. рисунок). При подаче импульсов сброса обратного напряжения проявлялись только те глубокие центры (либо доноры, либо акцепторы), суммарная концентрация которых преобладала (см. рисунок), а слои имели соответственно либо ν^- , либо π -тип проводимости.

Таким образом, были получены намеренно не легированные эпитаксиальные слои $GaAs$, выращенные на p^+ -подложках, концентрация мелкой легирующей примеси в которых настолько мала, что тип проводимости слоев (р-, ν^- или π -) определяется концентрациями глубоких центров.

Спектры $I-DLTS$: а - полученные в режиме подачи на образец прямых инжектирующих импульсов, б - полученные в режиме импульсного сброса обратного напряжения на образце до нуля. С преобладанием глубоких акцепторов: 1 - образцы первой группы (р-тип проводимости), 2 - образцы второй группы (π -тип проводимости). С преобладанием глубоких доноров: 3 - образцы второй группы (ν^- -тип проводимости).

- [1] Knight J.R., Effer D., Evans P.R. // Sol. St. Electron. 1965. V. 8. P. 178-187.
- [2] Alferov Z.I., Garbuzov D.Z. et. al. // Kristall und Technik, 1967. V. 2. P. 541-548.
- [3] Жиляев Ю.В., Маркарян Г.Р. и др. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 9. С. 2688-2695.
- [4] Голубев В.Г., Жиляев Ю.В. и др. // ФТП. 1987. Т. 21. № 10. С. 1771-1776.
- [5] Жиляев Ю.В. Разработка методов получения гетероструктур в системах *GaP-GaAs*, *AlAs-GaAs*. Автореф. канд. дис. Л., 1971. 18 с.
- [6] Холлап Л., Холлейс Дж., Брайс Дж. В сб.: Актуальные проблемы материаловедения, в. 2. / Под ред. Э. Калдиса. М., 1983. С. 7-239.
- [7] Lang D.V. // J. Appl. Phys. 1974. V. 45. N 7. P. 3032-3032.
- [8] Goto G., Yanagisawa C. et. al. // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 23. N 3. P. 150-151.
- [9] Sah C.T., Forbes L. et. al. // Sol. St. Electr. 1970. V. 13. N 6. P. 759-783.
- [10] Hübik P., Smid V. et. al. // Cryst. proper. and Prepar. 1987. V. 12. P. 167-172.
- [11] Ботнарюк В.М., Жиляев Ю.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 2. С. 181-185.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
26 сентября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 2

26 января 1991 г.

07; 12

© 1991

АДАПТИВНЫЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ СУБМИКРОННЫХ СМЕЩЕНИЙ

Ю.О. Барменков, Н.М. Кожевников

Применение динамических голограмм позволяет осуществить адаптивную пространственно-временную стабилизацию рабочей точки оптических интерферометров (ОИ) [1, 2]. При использовании таких ОИ для измерения ступенчатых субмикронных смещений требуется высокочастотная фазовая модуляция опорного пучка (ФМОП),