

ДИАГНОСТИКА ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР GaAs/AlGaAs/GaAs С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СЕЛЕКТИВНОГО ТРАВЛЕНИЯ

Козловский Э.Ю., Селезнев Б.И.

ЗАО "НПП "Планета-Аргалл", 173004, Россия, Великий Новгород, ул. Федоровский ручей, 2/13.

Телефон: (8162) 66-34-84, факс: (8162) 63-04-33, E-mail: <argall@novgorod.net>

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 173003, Россия,

Великий Новгород, ул. Б. – Санкт-Петербургская, 41. Телефон: (8162) 62-75-52

Аннотация

Разработана методика послойного травления гетероструктур типа GaAs/AlGaAs/GaAs с использованием селективных травителей. Получены типовые номограммы для определения толщин слоев структуры, а также выполнена оценка электрофизических параметров двумерного электронного газа.

1. Введение.

В настоящее время для создания полевых транзисторов СВЧ диапазона на основе гомо- и гетеропереходов используются различные двойные (GaAs, InP, GaN и др.) и тройные (AlGaAs, InGaAs, AlGaIn и др.) соединения A^3B^5 .

Электрические характеристики готового прибора зависят как от конструктивно-технологических параметров, так и от параметров самого материала. Поэтому, принимая во внимание сложность исходных структур, для создания полевых транзисторов большую важность приобретает контроль параметров этих структур. В первую очередь профиль распределения концентрации и подвижности по толщине структуры, толщины отдельных слоев, а также стехиометрия полупроводниковых соединений. Среди многочисленных методов диагностики подобных структур широкое распространение получили холловские и эллипсометрические измерения. Их применение позволяет осуществить контроль гетероэпитаксиальных структур с толщинами слоев в несколько сотен ангстрем. Оценка параметров исходной структуры позволяет оценить параметры готового прибора и возможность его применения в различных рабочих режимах.

2. Основная часть.

В настоящей работе исследовались гетероструктуры типа GaAs/AlGaAs/GaAs, схематическое изображение слоев которых представлено на рис. 1.

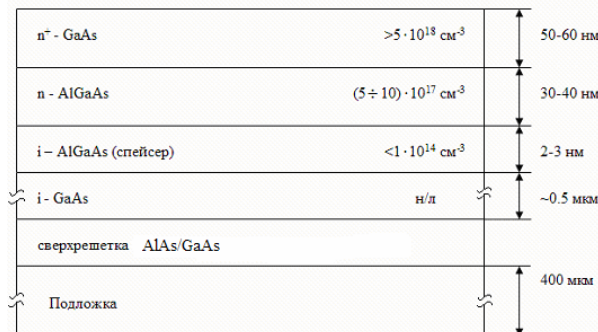


Рис.1 – Гетероструктура GaAs/AlGaAs/GaAs
Fig.1 – Heterostructure GaAs/AlGaAs/GaAs

Исследуемая гетероструктура резко неоднородна по проводимости: верхний высокопроводящий слой n^+ -GaAs, далее слой n -AlGaAs, спейсер и слой двумерного газа (ДЭГ) с высокой проводимостью при 77К, сравнимой с проводимостью n^+ -GaAs. Поэтому измеряемые начальные значения электрофизических параметров (ЭФП) при комнатной температуре в основном соответствуют параметрам n^+ -слоя, а при 77 К являются некими эффективными.

Поэтому для определения параметров ДЭГ необходимо прецизионно удалить шунтирующий n^+ -слой. Послойное удаление n^+ -GaAs проводилось анодным окислением с автоматическим контролем толщины анодного окисла по коэффициенту отражения лазерного излучения ($\lambda=6328$ А) в процессе окисления. В результате одного анодирования снимается слой толщиной $\Delta x=0.75 \cdot d_{ок}$ ($d_{ок}$ – толщина анодного окисла). При небольших концентрациях n_s анодирование проводилось при интенсивной подсветке. Удаление остатков n^+ -GaAs и частично AlGaAs проводилось химическим травлением в перекисно-аммиачном травителе. Состав травителя обеспечивает селективность травления GaAs по отношению к AlGaAs. Послойное удаление AlGaAs проводилось выдержкой в КОН (10%) и удалением нерастворимых остатков ватным тампоном. Переход n^+ -GaAs – n -AlGaAs фиксировался по следующим наблюдениям: появление цветности; несмачиваемость поверхности AlGaAs в отличие от GaAs; $n_s(300K)=n_s(77K)$.

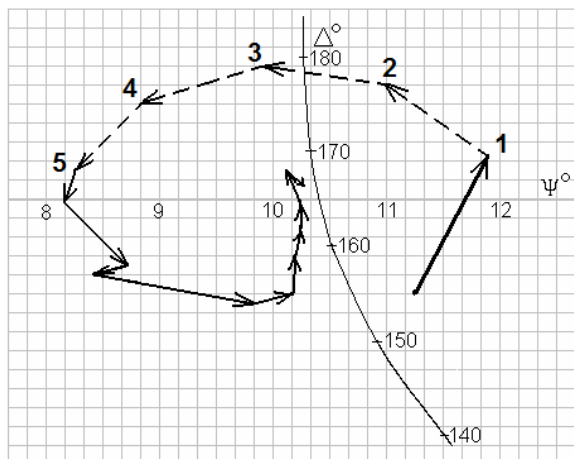
В таблице 1 приведены результаты измерений электрофизических характеристик для трех образцов: начальные значения и после удаления шунтирующего n^+ -слоя GaAs.

Таблица 1 – ЭФП гетероструктур GaAs/AlGaAs/GaAs (начальные) и ДЭГ (после снятия шунтирующего слоя)

№	T, K	Начальные значения		После снятия шунтирующего слоя	
		$n_s \cdot 10^{-12}, \text{см}^{-2}$	$\mu \cdot 10^{-3}, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$n_s \cdot 10^{-12}, \text{см}^{-2}$	$\mu \cdot 10^{-3}, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$
1	300	17	2,7	1,1	5,68
	77	5,5	24	1,0	48,4
2	300	12,8	2,76	0,94	5,28
	77	4,0	16,08	1,0	36,84
3	300	20	2,58	1,3	5,78
	77	6,3	16,79	1,1	44,08

Контроль толщины стравливаемого слоя $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и оценка состава (величины x) проводились с помощью эллипсометрических

измерений Δ и Ψ при послойном травлении. Для расшифровки экспериментальных данных эллипсометрических измерений структур $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ на GaAs использовались расчеты, приведенные в работе [1] и атлас номограмм для определения толщины и показателя преломления диэлектрических пленок на поверхности GaAs. Следует отметить, что наличие естественного окисла несколько видоизменяет теоретическую номограмму, приведенную в работе [1], в сторону уменьшения Δ на 5...6°. На рис.2 приведена одна из полученных экспериментальных кривых.



1, 2, 3, 4, 5 – Точки, в которых измерялись ЭФП

Рис.2 – Экспериментальная номограмма гетероструктуры GaAs/AlGaAs/GaAs

Fig 2. – Experimental nomogram of heterostructure GaAs/AlGaAs/GaAs

Арсениду галлия с естественным окислом соответствует кривая при Δ меньших 170°. Жирная линия соответствует верхнему слою $\text{n}^+\text{-GaAs}$ и далее пунктирная – слабелегированному “хвосту” n-GaAs . “Хвост” оказывается растянутым на 40 нм с концентрациями n_s от $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ до $(0,6-0,7) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (таблица 2).

Таблица 2 – Измерения ЭФП гетероструктуры при послойном травлении (300K)

Точка измерения	$n_s \cdot 10^{-12}, \text{ см}^{-2}$
1	0,99
2	0,88
3	0,73
4	0,64
5	0,63

Сплошная линия соответствует слою $\text{n-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Ломаные куски кривой соответствуют этапам травления. При измерении ЭФП величина n_s меняется слабо. Это связано с отсутствием подвижных носителей заряда в слое $\text{n-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Общая толщина верхнего слоя GaAs вместе с хвостовой частью составляет по данным послойного анодного травления 120 нм, толщина слоя $\text{n}^+\text{-GaAs}$ – 80 нм. Переход между верхним GaAs и AlGaAs происходит при поверхностной концентрации

$n_s = (0,6-0,7) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Окончание травления AlGaAs фиксируется довольно точным выходом на кривую окисел - GaAs и прекращением циклирования при дальнейшем травлении.

Сравнение с теоретической номограммой дает $x=0,25$, толщину слоя AlGaAs – 40 нм. Переход $\text{n}^+\text{-GaAs}$ - AlGaAs характеризуется равенством концентраций $n_s(300\text{K}) = n_s(77\text{K}) = 0,63 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, что дает концентрацию носителей заряда в слое AlGaAs $n = 1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Сформировав на образце, подвергаемом травлению, тестовую транзисторную структуру (сток-исток) и замеряя после каждого шага травления величину тока насыщения на тесте можно получить информацию о профиле тока.

Анализ профилей концентрации, подвижности и тока дает важную информацию не только о параметрах структуры, но и позволит судить об их влиянии на параметры готового прибора (начальный ток стока, крутизна, напряжение отсечки), что является крайне важным при исследовании новых материалов и структур, а также оптимизации параметров транзистора.

3. Заключение.

Предложенная диагностика гетероструктур с использованием методики селективного травления с привлечением холловских и эллипсометрических измерений позволяет получить информацию о параметрах ДЭГ. Данная методика может быть использована в качестве входного контроля пластин и при исследовании новых гомо- и гетероструктур на основе GaAs. Кроме того, при наличии соответствующих селективных травителей, она может быть использована при отработке технологии других материалов (InP , GaN и др.)

4. Список литературы.

[1] Порус Г.Б., Лымарь Г.Ф., Резвый Р.Р. Эллипсометрия гетероэпитаксиальных структур в системе GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs / Г.Б.Порус, Г.Ф.Лымарь, Р.Р.Резвый // Электр. техн. - Сер.2. 1989. – Вып. 6. – С. 27-33.

THE DIAGNOSTICS OF HETEROEPITAXIAL STRUCTURES GaAs/AlGaAs/GaAs BASED ON TECHNIQUE OF SELECTIVE ETCHING

Kozlovsky E.Y. Seleznev B.I.

CJSC «SMF «Planeta-Argall»

Fedorovsky ruchey str.2/13, Novgorod the Great, Russia
Ph.: (8162)693121, e-mail: argall@novgorod.net

Yaroslav's the Wise Novgorod State University
B.-St.Petersburgskaja, 41, Novgorod the Great, Russia
Ph.: (8162) 62-75-52

Abstract – The technique of level-by-level etching of heterostructures GaAs/AlGaAs/GaAs with use of selective etchants is worked out. Typical nomograms for definition of thickness of layers of a structure and also the estimation of electrophysical parameters of two-dimension electron gas are executed.