

optical response of resonantly coupled silver nanoparticles and dye molecule system. We applied transient differential absorption spectroscopy to identify absorbance changes in the localized surface plasmon resonance (LSPR) band region of silver nanoparticles created by excitation of dye molecules. Decomposition of the transient absorption spectra into decay associated spectral components revealed that the changes are caused by the shift to the long wavelength side and enhancement of the LSPR band. We attribute these changes to the exciton-plasmon coupling and explain it as caused by changes of the refraction index of the layer of dye molecules surrounding the nanoparticle as well as back transfer of the oscillator strength borrowed from nanoparticle by dye molecules under their excitation.

**Е.В. Телеш**

УВО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПАССИВИРУЮЩИХ СЛОЕВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА GaAs РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ**

### **Введение**

Задача получения высококачественных диэлектрических слоев является одной из главных в технологии микроэлектронных устройств на сложных полупроводниках  $A_3B_5$  и гетероструктур на их основе. Собственные оксиды этих полупроводников термически нестабильны и обладают неудовлетворительными диэлектрическими свойствами [1]. В связи с этим наиболее приемлемым является формирование диэлектрических покрытий без использования материала подложки. Термическое испарение позволяет осаждать диэлектрики без генерации дефектов в полупроводнике. В то же время можно отметить невысокую энергию частиц при ионно-лучевом распылении (ИЛР), что делает этот метод приемлемым для формирования пленок диэлектриков на GaAs [2]. Это объясняется преимуществами ионно-лучевых систем: пространственное разделение областей генерации плазмы и области непосредственной конденсации материала, более высокая чистота пленок из-за снижения давления рабочих газов, высокая адгезия покрытий к подложкам, минимальное воздействие вторичных электронов на подложку, а, следовательно, уменьшение степени радиационных повреждений и нагрева.

Пассивирующие слои служат для защиты поверхности активных структур от воздействия окружающей среды. Они должны иметь высокую адгезию к

GaAs и низкие пористость и плотность заряда на границе раздела с полупроводником. Задачей исследований являлось изучение влияния процесса нанесения пассивирующих слоев с применением реактивного ИЛР мишени из кремния и ионной очистки на характеристики границы раздела «диэлектрик/n-GaAs» и на параметры полевых транзисторов с барьером Шоттки.

## 1. Методика эксперимента

Формирование пассивирующих слоев осуществляли на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Вакуумный объем откачивался диффузионным насосом, что обеспечило получение остаточного вакуума  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Па. В качестве ионного источника использовался двухлучевой плазменный ускоритель с анодным слоем, который позволял формировать два независимых пучка ионов. Первый пучок предназначен для ионной очистки, второй – для распыления мишени. В качестве рабочих газов использовались аргон газообразный, чистый марки «А», ГОСТ 10157-73 и кислород ГОСТ 6331-78. В качестве мишеней использовался кремний поликристаллический марки КП-4. Для подложек применялся арсенид галлия АГЧТ-2 ТУ 48-4-276-73.

Измерение характеристик полевых транзисторов на арсениде галлия до и после пассивации осуществлялось на характериографе TR-4805.

## 2. Результаты и их обсуждение

Проведено исследование процесса ионно-лучевого распыления кремния при варьировании тока на мишени и ускоряющего напряжения. При этом производились изменения тока на металлической подложке.

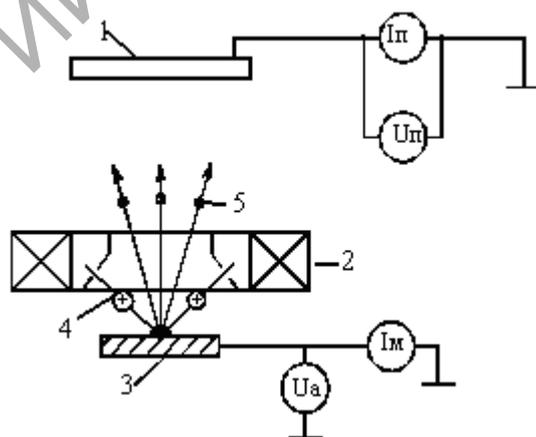


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента по исследованию потоков заряженных частиц в области подложки;

- 1 – подложка; 2 – ионный источник; 3 – мишень; 4 – пучки первичных ионов;  
5 – поток распыленного кремния

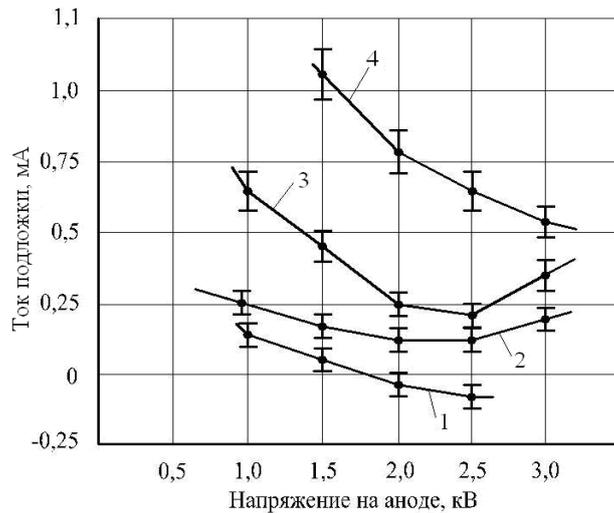


Рисунок 2 – Зависимости тока на подложке от ускоряющего напряжения при распылении мишеней из кремния;  
 1 –  $I_M = 5$  мА; 2 –  $I_M = 10$  мА; 3 –  $I_M = 30$  мА; 4 –  $I_M = 60$  мА

Схема эксперимента представлена на рисунке 1. На рисунке 2 приведены зависимости тока на подложке от ускоряющего напряжения и тока мишени. Установлено, что поток заряженных частиц на подложку был в 3 раза выше при распылении кварца [2].

Было проведено формирование пленки  $\text{SiO}_2$  при следующих условиях: остаточное давление в камере –  $2,6 \cdot 10^{-3}$  Па; парциальное давление кислорода –  $2,66 \cdot 10^{-2}$  Па; давление аргона –  $5,3 \cdot 10^{-3}$  Па; ускоряющее напряжение – 3 кВ; ток мишени – 75 мА. Перед нанесением диэлектрика проводилась химическая очистка поверхности GaAs в аммиачно-перекисном травителе и в 10 % растворе соляной кислоты. Толщина пассивирующего слоя составила 300 нм. Далее были сформированы контакты из алюминия размером  $0,8 \times 0,8$  мм<sup>2</sup>.

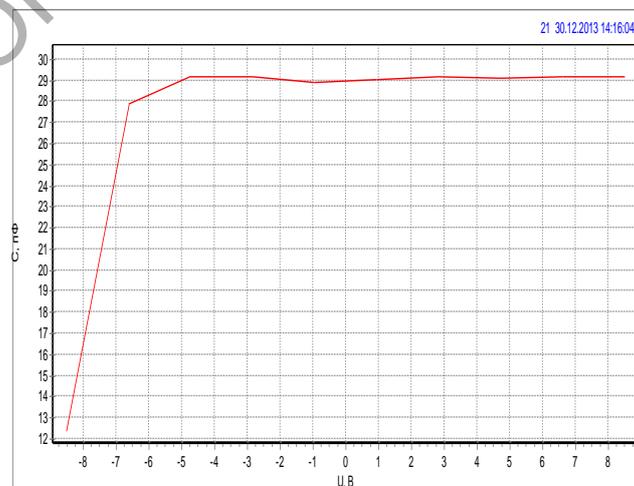


Рисунок 3 – Вольт-фарадная характеристика структуры Al/SiO<sub>2</sub>/n– GaAs, полученная без ионной очистки

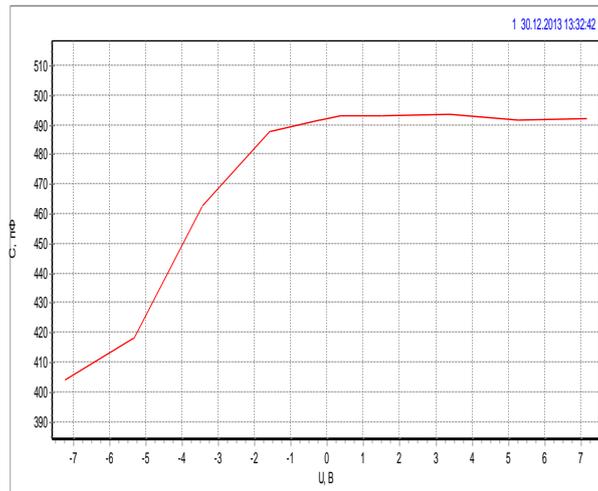


Рисунок 4 – Вольт-фарадная характеристика структуры Al/SiO<sub>2</sub>/n-GaAs, полученная с ионной очисткой

На рисунке 3 приведена вольт-фарадная характеристика полученной структуры. Была также сформирована аналогичная структура только с применением ионной очистки поверхности арсенида галлия. На рисунке 4 приведена вольт-фарадная характеристика этой структуры.

Установлено, что ВФХ претерпела значительные изменения. Произошло увеличение емкости структуры, что может быть обусловлено снижением толщины переходного слоя между диэлектриком и арсенидом галлия. Также было установлено, что плотность поверхностных состояний  $N_{ss}$  границы раздела SiO<sub>2</sub>/n-GaAs, составила  $6,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , т.е. на два порядка больше, чем у структуры AlN/GaAs, полученной распылением керамической мишени. Это напрямую связано с увеличением тока заряженных частиц на подложку при распылении кремния.

Проведено нанесение пассивирующих слоев из SiO<sub>2</sub> на активные структуры, представляющие собой пару полевых транзисторов с барьером Шоттки (ПТБШ). Парциальное давление кислорода составляло  $3 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ , ускоряющее напряжение – 3,0 кВ, ток мишени – 75 мА, температура подложки – 313 К, толщина слоя – 200–280 нм. Перед нанесением пассивации поверхность GaAs очищалась от естественных оксидов путем травления в 10 %-м растворе соляной кислоты с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой.

На рисунке 5 представлены стоковые характеристики ПТБШ до и после пассивации, проведенной без использования ионной очистки поверхности GaAs, а на рисунке 6 – внешний вид кристалла после пассивации.

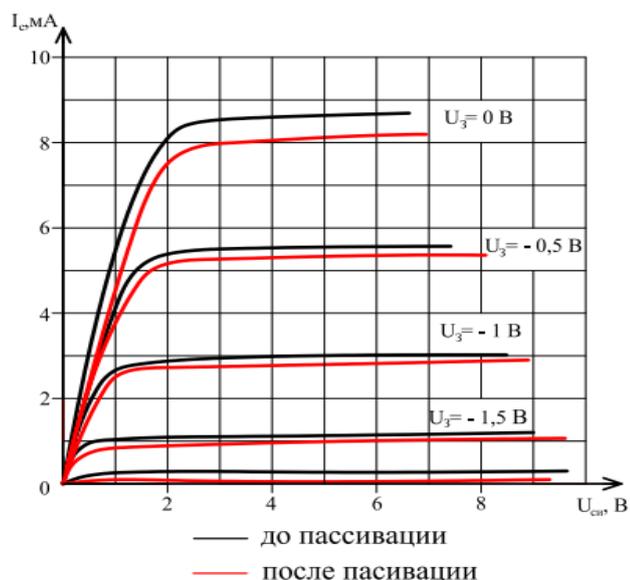


Рисунок 5 – Стоковые характеристики ПТБШ без применения ионной очистки поверхности GaAs

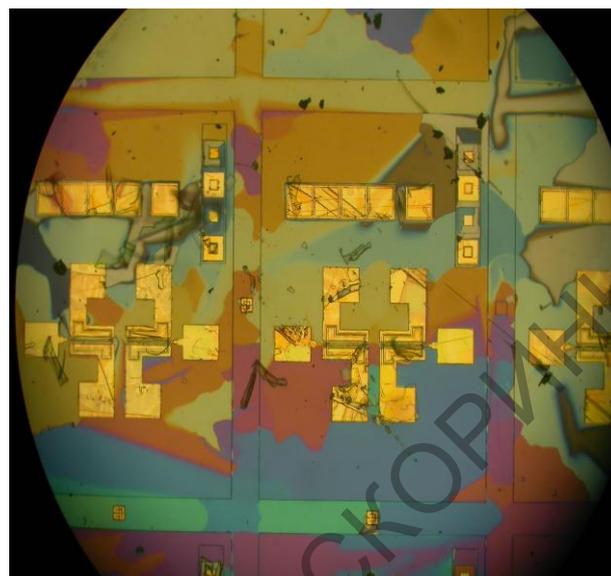


Рисунок 6 – Внешний вид кристалла после пассивации без применения ионной очистки поверхности GaAs

Установлено, что вид характеристики практически не изменился. Произошло лишь незначительное уменьшение ( $\sim 5-6\%$ ) максимального тока стока ПТБШ. Остальные параметры не изменились. Однако наблюдалось существенное отслоение пассивирующего слоя, что связано со слабой адгезией пленки диэлектрика.

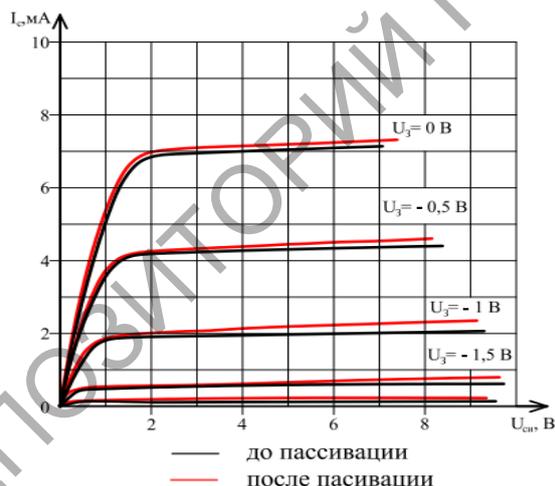


Рисунок 7 – Стоковые характеристики ПТБШ с применением ионной очистки поверхности GaAs

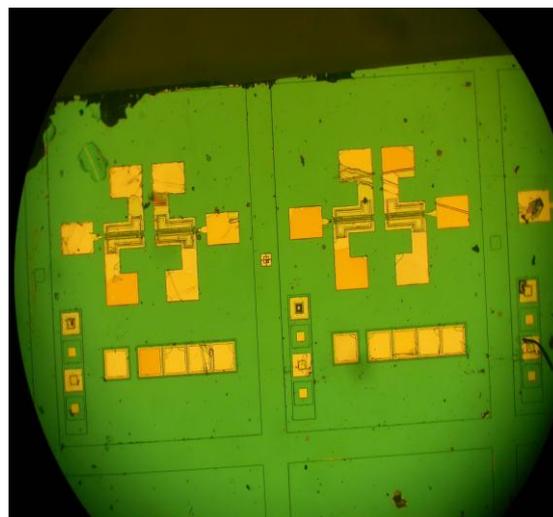


Рисунок 8 – Внешний вид кристалла после пассивации с применением ионной очистки поверхности GaAs

Применение ионной очистки перед нанесением пассивирующего слоя позволяет повысить адгезию последнего к арсениду галлия. Была проведена пассивация ПТБШ с предварительной очисткой поверхности GaAs ионами аргона с энергией 600–700 эВ и плотностью тока 100 мкА/см<sup>2</sup>. Внешний вид поверхности кристалла и стоковые характеристики представлены на рисунках 7–8.

Наблюдалось несущественное увеличение тока стока, а также отсутствие нарушений сплошности пленки SiO<sub>2</sub>.

### **Заключение**

Таким образом, результаты исследований показывают, что использование реактивного ИЛР кремниевой мишени позволяет сформировать пассивирующие покрытия для ПТБШ на GaAs с высокой адгезией и низкой степенью воздействия на их стоковые характеристики, даже при наличии повышенной плотности поверхностных состояний на границе раздела гетероструктур SiO<sub>2</sub>/n-GaAs/

### **Литература**

1. Коротченков, Г.С. Барьеры Шотки, собственные окислы и МОП структуры на арсениде галлия / Г.С. Коротченков, И.П. Молодян. – Кишинев, Штиинца, 1984. – 115 с.
2. Телеш, Е.В. Пассивация полевых транзисторов с барьером Шоттки на арсениде галлия с применением ионно-лучевого распыления диэлектрических мишеней / Е.В. Телеш // Электроника–инфо. – 2015. – № 7(121). – С. 59–62.

**Е.В. Телеш, О.В. Гуревич, А.Ю. Вашуров, С.В. Святохо**

УВО «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», Беларусь

### **СВОЙСТВА ПЛЕНОК SiO<sub>2</sub>, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ**

#### **Введение**

Задача синтеза высококачественных диэлектрических покрытий из диоксида кремния с высокой производительностью является актуальной для микроэлектроники, оптоэлектроники и оптики. Плазма тлеющего разряда в химически активных газах при низком давлении используется для создания целого ряда покрытий, применяемых в микроэлектронике [1]. Используемые в настоящее