

*Солдатенков Ф.Ю., Бондарев А.Д., Данильченко В.Г.,  
Лебедева Н.М., Усикова А.А.*

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН*

## **Повышение рабочих температур высоковольтных GaAs-A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n диодов при применении защитного покрытия из нитрида алюминия**

*В работе исследованы температурные зависимости вольтамперных характеристик в статическом режиме высоковольтных GaAs-A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n диодов с защитным покрытием боковой поверхности меза-структур слоем AlN и без покрытия, при нагреве до 260°C. Показано, что применение защитного покрытия из AlN позволяет уменьшить токи утечки диодов почти на порядок, что позволяет повысить их рабочие температуры до 250-260°C.*

**Ключевые слова:** высокочастотный силовой p-i-n диод, пассивация поверхности арсенида галлия, метод реактивного ионно-плазменного распыления, нитрид алюминия.

На основе высоковольтных гетероэпитаксиальных GaAs-A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n-структур, получаемых методом жидкофазной эпитаксии, возможно изготовление различных диодов для импульсной силовой и высокочастотной электроники, прежде всего, силовых диодов с наносекундными временами обратного восстановления (время восстановления блокирующих свойств p-n перехода при переключении диода из проводящего состояния в блокирующее) [1-2], которые могут работать на частотах повторения импульсов до 10 МГц, что сравнимо с характеристиками лучших приборов в данном сегменте рынка – диодами Шоттки из SiC и GaN. Приборы такого типа широко применяются при изготовлении высокочастотных преобразователей электрической энергии [3].

Одной из тенденций развития современной полупроводниковой электроники является повышение рабочих температур приборов [4]. Основным препятствием на пути повышения рабочих температур приборов на основе GaAs, в частности, силовых высоковольтных GaAs-A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n диодов, получаемых с помощью метода жидкофазной эпитаксии [1,2,5], является высокая химическая активность поверхности и, как следствие этого, высокая скорость роста собственного окисла. Причем химический состав и толщина этих оксидов зависят от условий окружающей среды и изменяются во времени, особенно интенсивно – при нагреве. Для окисленной поверхности GaAs характерно появление внутризонных поверхностных состояний, создающих паразитные каналы проводимости на незащищенной боковой поверхности меза-структур с p-n переходами (см. рис. 1), которые могут ухудшать статические и динамические характеристики, а также способствовать необратимой деградации приборов.

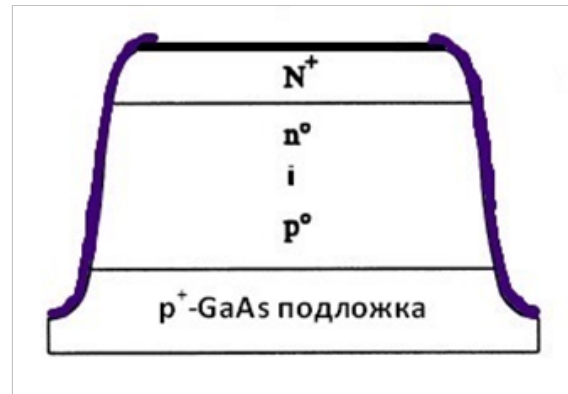
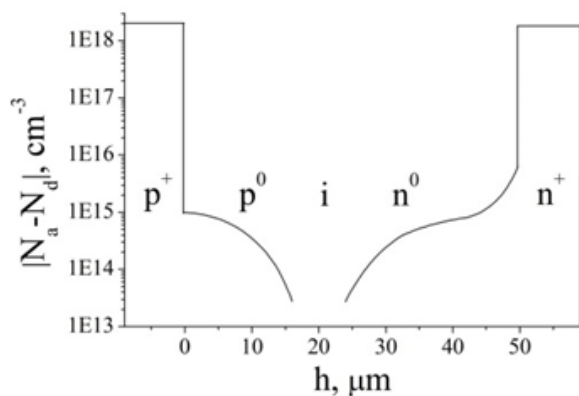


Рис. 1. Профиль распределения свободных носителей заряда в высоковольтных  $p^0$ - $i$ - $n^0$  слоях, выращенных на  $p^+$ -GaAs подложках, с дороженным  $n^+$ -GaAs эмиттером (рисунок слева); схематическое изображение сечения чипа GaAs p-i-n диода с защитным покрытием на боковой поверхности меза-структуры (рисунок справа).

Целью данной работы было выяснение возможности использования слоев нитрида алюминия (AlN), формируемых на поверхности кристаллов GaAs методом реактивного ионно-плазменного распыления [6], для эффективной химической и электронной пассивации поверхности полупроводниковых структур на их основе. Предполагается, что в процессе нанесения защитной пленки AlN на поверхности GaAs может также происходить замещение окислов галлия и мышьяка на соединения с высокой прочностью связей (в частности, Ga-N), способствующих стабилизации состояния поверхности и существенному снижению скорости поверхностной рекомбинации, что в свою очередь должно улучшать зависящие от состояния поверхности электронные характеристики данных полупроводников.

Методика изготовления и свойства наноструктурированных пленок нитрида алюминия, полученных методом реактивного ионно-плазменного распыления, подробно описаны в [6]. В данной работе на поверхности меза-структур диодов наносились защитные пленки AlN толщиной от 50 до 150 нм.

На рис. 2 и 3 представлены температурные зависимости прямой и обратной ветви вольтамперных характеристик (ВАХ) в статическом режиме (определялись падения напряжения при прямом смещении и токи утечки при обратном смещении) GaAs- $A_3B_5$  p-i-n диодов с защитным покрытием боковой поверхности меза-структур слоем AlN и без покрытия. Из рисунков 2 и 3 видно, что применение защиты поверхности диодов слоем AlN существенным образом повлияло на величину токов утечки диодов при обратном смещении – токи утечки уменьшились почти на порядок, что позволяет диодам работать при больших температурах, вплоть до 250-260°C, при приемлемых величинах токов утечки.

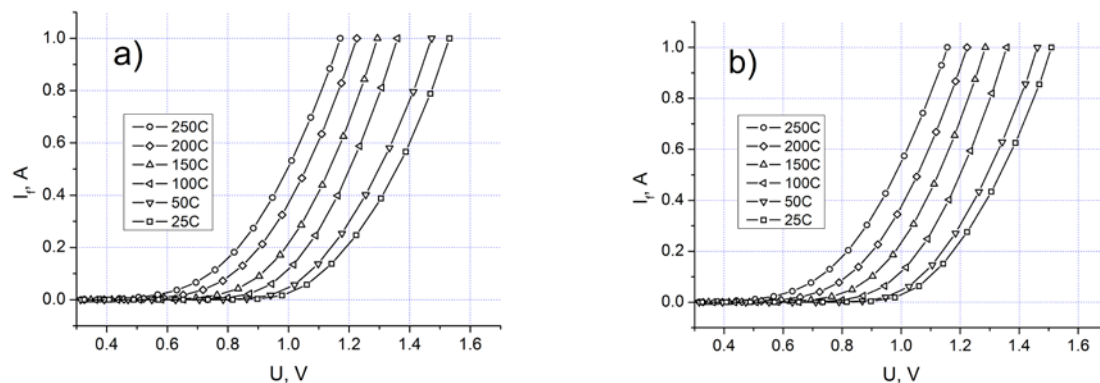


Рис. 2. Температурная зависимость прямой ветви ВАХ в статическом режиме GaAs-Al<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n диодов с покрытием из AlN (b) и без покрытия (a) при температурах от 25 до 250°C. Площадь образцов  $S \sim 0.5 \text{ мм}^2$ .

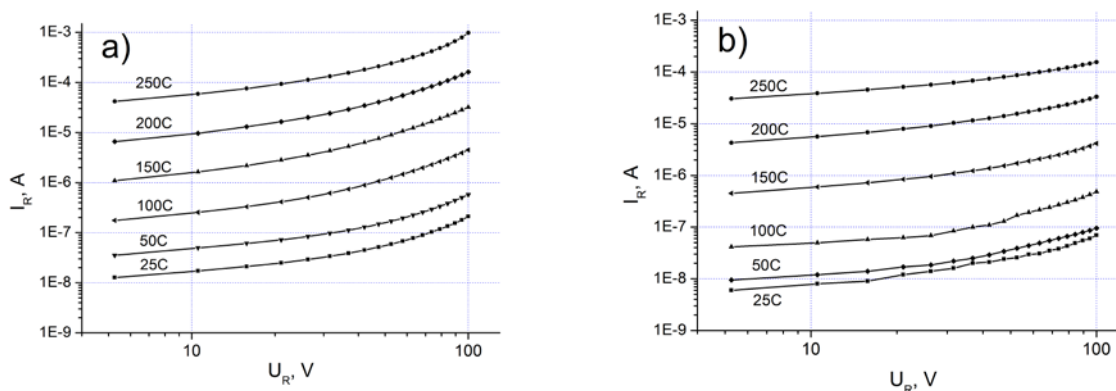


Рис. 3. Температурная зависимость обратной ветви ВАХ в статическом режиме – токи утечки  $I_R$  при обратном смещении  $U_R$  до 100 В GaAs-Al<sub>3</sub>B<sub>5</sub> p-i-n диодов с покрытием из AlN (b) и без покрытия (a) при температурах от 25 до 250°C.

#### Библиографический список

1. Солдатенков Ф.Ю., Данильченко В.Г., Корольков В.И. Управление временем жизни носителей заряда в высоковольтных p-i-n диодах на основе гетероструктур InGaAs/GaAs. – ФТП. – 2007. – Т. 41. – Вып. 2. – С. 217-220.
2. Kozlov V.A., Soldatenkov F.Yu., Danilchenko V.G., Korolkov V.I. and Shulpina I.L. Defect engineering for carrier lifetime control in high voltage GaAs power diodes. – Proc. of 25th Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC-2014). – Saratoga Springs, USA, 19-21 May 2014. – P. 139-144.D.A.
3. Status of the Power Electronics Industry 2017. Market & Technology Yole Développement report 2017. [https://www.i-micronews.com/images/SAMPLES/POWER/Yole\\_YDPE17028\\_Power\\_Electronics\\_Industry\\_2017\\_sample.pdf](https://www.i-micronews.com/images/SAMPLES/POWER/Yole_YDPE17028_Power_Electronics_Industry_2017_sample.pdf)
4. И.В.Грехов. Силовая полупроводниковая электроника и импульсная техника. – Вестник РАН. – 2008. – Т. 78. – № 2. – С. 106-131.
5. Алферов Ж.И., Корольков В.И., Никитин В.Г., Степанова М.Н., Третьяков Д.Н.. Мощные быстродействующие диоды на основе арсенида галлия. – Письма в ЖТФ. – 1976. – Т. 2. – Вып. 2. – С. 201-204.
6. П.В. Середин, Д.А. Голощапов, А.С. Леньшин, А.Н. Лукин, А.В. Федюкин, И.Н. Арсентьев, А.Д. Бондарев, Я.В. Лубянский, И.С. Тарасов. Особенности роста и структурно-спектроскопические исследования нанопрофилированных пленок AlN, выращенных на разориентированных подложках GaAs. – Физика и техника полупроводников. – 2016. – Т. 50. – В. 9. – С. 1283-1294.