

**Д.В. Кантюк, Н.О. Волнянский, Н.Н. Никульченко,  
А.В. Толстолицкая, С.И. Толстолицкий**  
ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт  
радиосвязи»

## **Оптимизация технологии изготовления МИС СВЧ ограничителей мощности на арсениде галлия для модулей АФАР**

*Представлены результаты экспериментальных исследований влияния введения платинового диффузионного барьера в состав системы металлов анодного контакта диодов с целью повышения времени наработки на отказ ограничителей мощности. Оптимизированы режимы плазмохимического травления нитрида кремния в щели анодного контакта. Проведено сравнение характеристик диодов и ограничителей мощности с системой анодной металлизации Ti-Au и Ti-Pt-Au при разных температурах отжига.*

**Ключевые слова:** ограничитель мощности, плазмохимическое травление, барьерная металлизация, контакт Шоттки

Полупроводниковые СВЧ ограничители мощности (ОМ) применяются для защиты входных цепей приемника от воздействия импульсных сигналов собственного передатчика или внешних помех. Для защиты маломощных усилителей во входных трактах радиоприемных устройств используют быстродействующие ОМ на диодах с барьером Шоттки на арсениде галлия [1-3]. К ОМ, работающим в составе модулей АФАР, предъявляются повышенные требования по надежности.

Целью исследований является повышение надежности МИС СВЧ ограничителей мощности на арсениде галлия путём оптимизации режимов плазмохимического травления и введения барьерного слоя платины в металлизацию анодного контакта.

Основным фактором, обеспечивающим надежность твердотельного ОМ, является качество изготовления анодного контакта Шоттки. Одной из причин, приводящих к снижению качества, является образование в окнах нитрида кремния продуктов реакции, образующихся в процессе проведения плазмохимического травления.

В ходе проведения исследований отработаны режимы травления плёнки нитрида кремния в смеси газов (Хладон-14 ( $CF_4$ ) и Хладон-218 ( $C_3F_8$ )), что обеспечило высокую анизотропность процесса травления. На рис. 1 представлена зависимость ухода линейных размеров щели анодного контакта от времени плазмохимической обработки.

При времени обработки менее 300 с наблюдаются остатки нитрида кремния в окнах, а при времени обработки более 350 с проявляется уход линейных размеров щели анодного контакта. На основе проведенных экспериментов определены оптимальные режимы травления нитрида кремния.

Не менее важным этапом является процесс удаления фоторезиста. Плазмохимическое удаление фоторезиста (ПХУФ) приводит к резкому нагреву пластины и жесткому режиму обработки, при этом не обеспечивается требуемая чистота анодного окна. Избежать негативных воздействий, возникающих при ПХУФ, и повысить качество удаления фоторезиста удалось при использовании растворителя на

основе моноэтаноламина, что обеспечило сокращение разброса значений коэффициента идеальности ограничительных диодов с 40% до 5%.

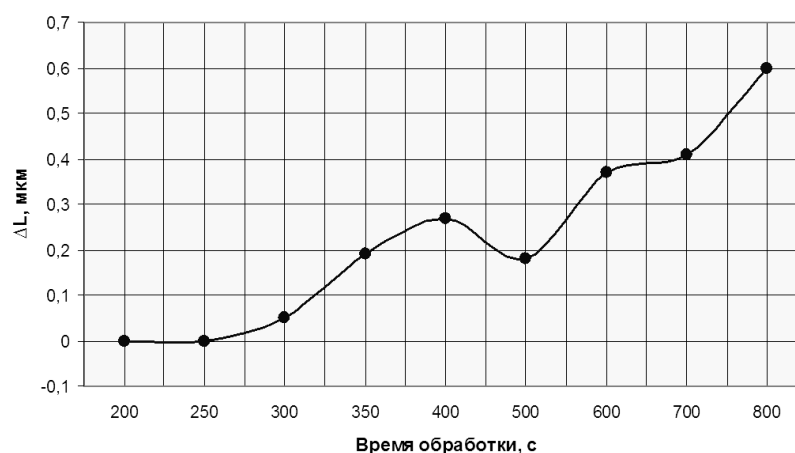


Рис. 1.

Для арсенидгаллиевых приборов с барьером Шоттки система металлизации анодных контактов является наиболее уязвимой частью с точки зрения деградации параметров, что определяется взаимодиффузией и реакциями в многослойных металлических пленках. Роль диффузионных барьеров могут выполнять слои тугоплавких металлов. В тонких пленках W, Rh и Pt коэффициенты диффузии золота крайне малы [5, 6]. Выбор элементов системы анодной металлизации (Ti-Pt-Au) определялся возможностью их интеграции в технологический процесс. В результате процессов взаимной диффузии между Pt и Ti в интервале температур 100 - 400°C образуется тонкий слой  $Ti_3Pt$  [5], который является хорошим диффузионным барьером на границе раздела Ti-TiPt. Для изучения влияния барьерного слоя платины были изготовлены две опытные партии твердотельных ОМ L-диапазона, в которых применялись системы металлов Ti-Au и Ti-Pt-Au для формирования анодного контакта. Формирование барьерного контакта осуществлялось методом резистивного напыления.

Измерения электрофизических параметров тестовых диодов, мощностных параметров и S-параметров ОМ проводились с помощью аналитической зондовой станции Suss Microtec PM5, анализатора полупроводниковых приборов Agilent B1500A, аналогового генератора СВЧ сигналов Agilent N5181A, анализатора спектра Agilent E4407B, и векторного анализатора цепей Agilent PNA-X N5244A. Результаты измерений показали, что введение платины в систему анодной металлизации не ухудшает электрические характеристики.

При исследовании влияния температуры на параметры ОМ устройства подвергались термической обработке в атмосфере аргона в течение 10 мин при разных температурах. После каждого этапа обработки проводились измерения коэффициента идеальности и ВАХ диодов, просачивающейся мощности и S-параметров ОМ. Результаты измерений электрофизических параметров диодов приведены на рисунках 2-4.

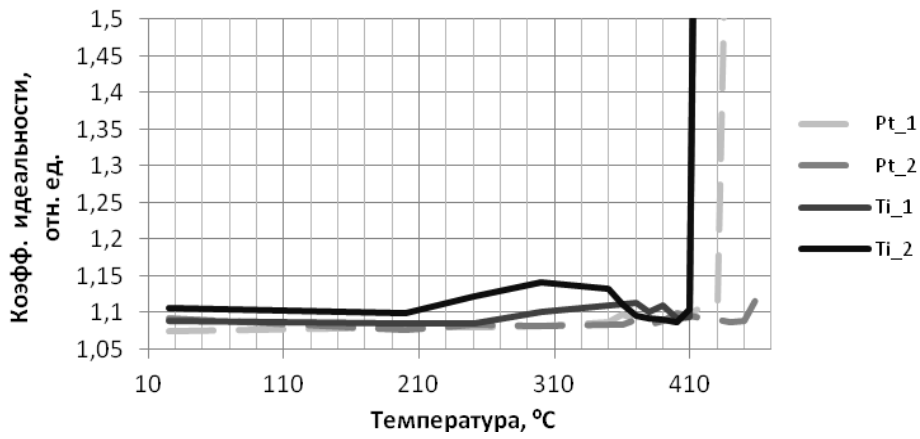


Рис. 2.

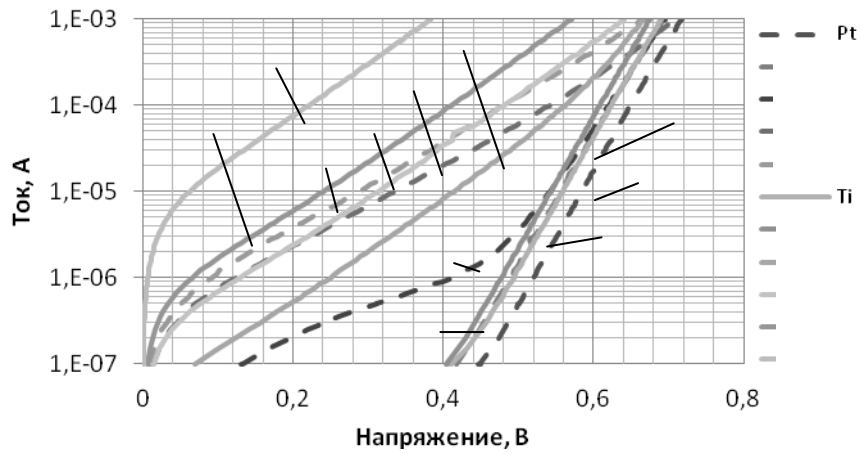


Рис. 3.

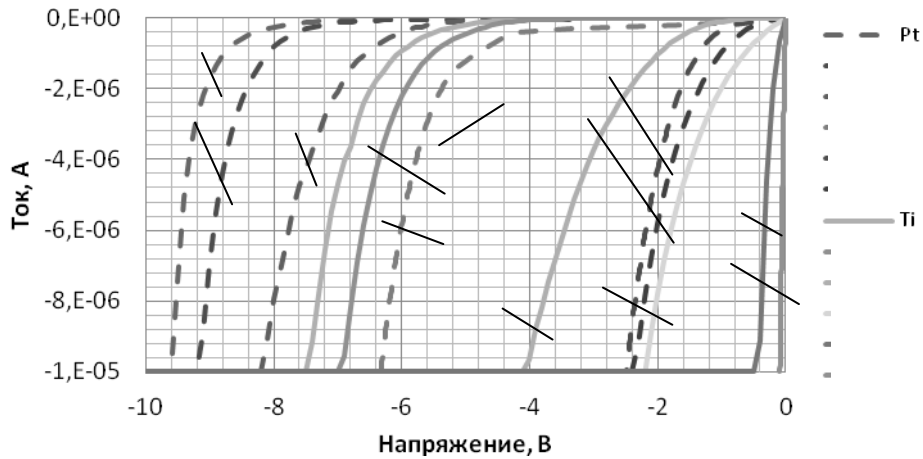


Рис. 4.

Из графиков видно, что деградация диодов Шоттки с системой анодной металлизации Ti-Au наблюдается, начиная с 410°C, а с системой Ti-Pt-Au – с 430°C.

На рис. 5-7 приведены результаты измерений S-параметров и просачивающейся мощности ОМ на частоте 2 ГГц.

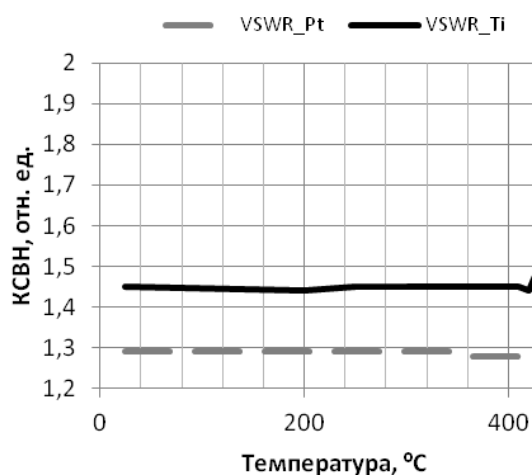


Рис. 5.

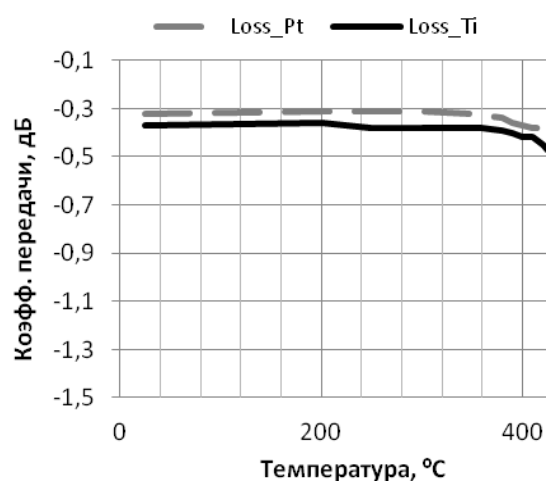


Рис. 6.

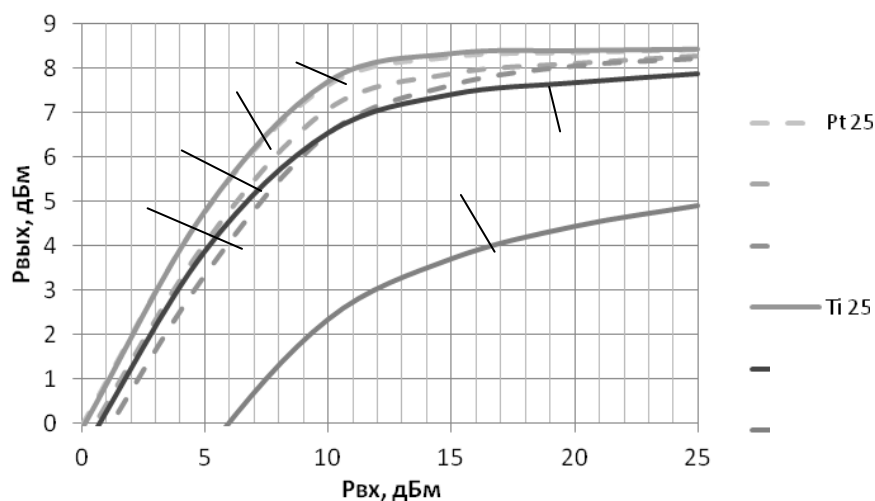


Рис. 7.

Из графиков видно, что деградация МИС ОМ с системой металлизации анода Ti-Au наблюдается при температурах порядка 430-440°C, в то время как ОМ с системой металлизации анода Ti-Pt-Au – при температурах выше 450°C.

Существенная разница в температурных границах деградации свидетельствует о более высокой надежности ОМ с системой анодной металлизации Ti-Pt-Au. Численная обработка полученных результатов дает возможность прогнозировать увеличение времени наработки на отказ в 2,5 раза.

Оптимизация технологических процессов при изготовлении опытных партий МИС ОМ с системой анодной металлизации Ti-Pt-Au обеспечила, помимо существенного увеличения времени наработки на отказ, повышение процента выхода годных устройств.

### Выводы

В результате проведенных исследований разработана технология формирования анодного контакта диода Шоттки, обеспечивающая повышение надежности МИС ОМ, увеличение времени наработки на отказ и повышение процента выхода годных.

## Библиографический список

1. Бирюлева Е.Г., Вьюгинов В.Н., Зыбин А.А. Широкополосное защитное устройство в монолитном интегральном исполнении. // Материалы 20 Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь: Вебер, 2010, т.1, с. 151-152.
2. Крутов А. В., Ребров А. С. Монолитная интегральная схема защитного устройства 3–х сантиметрового диапазона. // Материалы 17 Международной Крымской конференции Севастополь: Вебер, 2007, с. 79–80.
3. Безус С.В., Иванов С.В., Иващенко Д.И., Казачков В.В., Ли А.И., Повороженко П.А., Толстолуцкий С.И. СВЧ-ограничитель мощности X-диапазона на арсениде галлия. // Общие вопросы радиоэлектроники, 2011, вып. 2, с. 121 - 125 с.
4. Айнспрук Н., Браун Д. Плазменная технология в производстве СБИС. Пер. с англ. М.: Мир, 1987.
5. Grusha S.A., Khazan L.S., Konakova R.V., Lanyi S., Milenin V.V., Nadazdy V., Naumovets A.A., Nesterenko B.A., Tkhorik Yu.A. Diffusion effects at Pt-GaAs Interfaces. Thin Solid Films., 1992, V.215, N1, p. 50-51.
6. Poate J.M., K.N. Tu, and Mayer J.W., Eds., Thin films - interdiffusion and reactions. Wiley-interscience, New-York, 1978