

*Неженцев А.В., Земляков В.Е., Гармаиш В.И., Егоркин В.И.
Национальный исследовательский университет-МИЭТ*

Исследование технологических процессов получения омических контактов к наногетероструктурам на основе арсенида галлия

Представлены результаты оптимизации технологических процессов изготовления омических контактов к наногетероструктурам на основе арсенида галлия. Особенность данных исследований заключается в широком варьировании технологических параметров процесса вжигания контактной металлизации. Улучшение технологии производства компонентов СВЧ-электроники существенно повысит их производительность.

Ключевые слова: Омический контакт, наногетероструктура, метод передающей линии.

Главными требованиями к омическим контактам являются их низкое сопротивление (как сопротивление материала омических контактов, так и их контактное сопротивление к активным слоям гетероструктуры), температурная стабильность и малая шероховатость поверхности. Для формирования омических контактов к наногетероструктурам на основе арсенида галлия характерно использование тонких слоев Au, Ge, Ag, Ni, Pt, Pd, Ti и других материалов [1-5]. Для улучшения характеристик формируемых контактов производится их термообработка, во время которой атомы металла и полупроводника диффундируют в слой полупроводниковой наногетероструктуры. Это приводит к снижению контактного сопротивления между металлизацией омического контакта и активными слоями гетероструктуры. Характерные температуры процесса термической обработки омических контактов составляют от 350 до 550° С. Как указано в [6] минимизация контактного сопротивления является очень сложной задачей, решение которой зависит от состава и толщин слоев металлов, от характеристик полупроводниковой гетероструктуры, от параметров процесса термообработки. В этой работе описаны методы минимизации контактного сопротивления для рНЕМТ гетероструктуры с контактным слоем толщиной 50нм, изготовленной в «Коннекторс-Оптикс» г. Санкт-Петербург, и системой металлизации AuGe-Ni-Au (30/10/300 нм) в зависимости от температуры, давления газа и времени вжигания с дополнительным отжигом.

Условия проведения эксперимента

Формирование металлизации омических контактов осуществлялось с применением контактной фотолитографии и вакуумного напыления металлизации.

После подготовки поверхности подложки, на неё последовательно наносятся слои LOR (lift-off resist) и фоторезиста S1813. Нижний слой LOR обеспечивает необходимую при осуществлении операции «взрыва» резиста (lift-off) обратную геометрию системы резистов. Режимы нанесения и термообработки слоёв представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры технологических операций нанесения резистивной маски для формирования омических контактов.

Операция		Резист	
		LOR 5A	S1813
Нанесение резиста	Скорость вращения центрифуги, об/мин	$V_1=600$ $V_2=2000$	$V=2000$
	Время нанесения, с	$t_1=5$ $t_2=30$	$t=20$
Термообработка	Температура, °C	150 ± 5	115 ± 5
	Время, мин	2	1

Для проведения процессов термической обработки полупроводниковых подложек, как правило, используются специальные печи, в которых нагрев происходит с помощью резистивных нагревателей. Используемая в работе печь (горячая плита) собственной разработки схематически представлена на рисунке 1. Температура термообработки регулируется током, протекающим через нагревательный элемент. Термопара располагается рядом с нагревателем. Вжигание контактов производится в атмосфере азота, что позволяет исключить взаимодействие атмосферы с нагретыми контактами. Пластина надвигается на область, прогретую нагревательным элементом и после заданного времени сдвигается на холодную часть плиты.

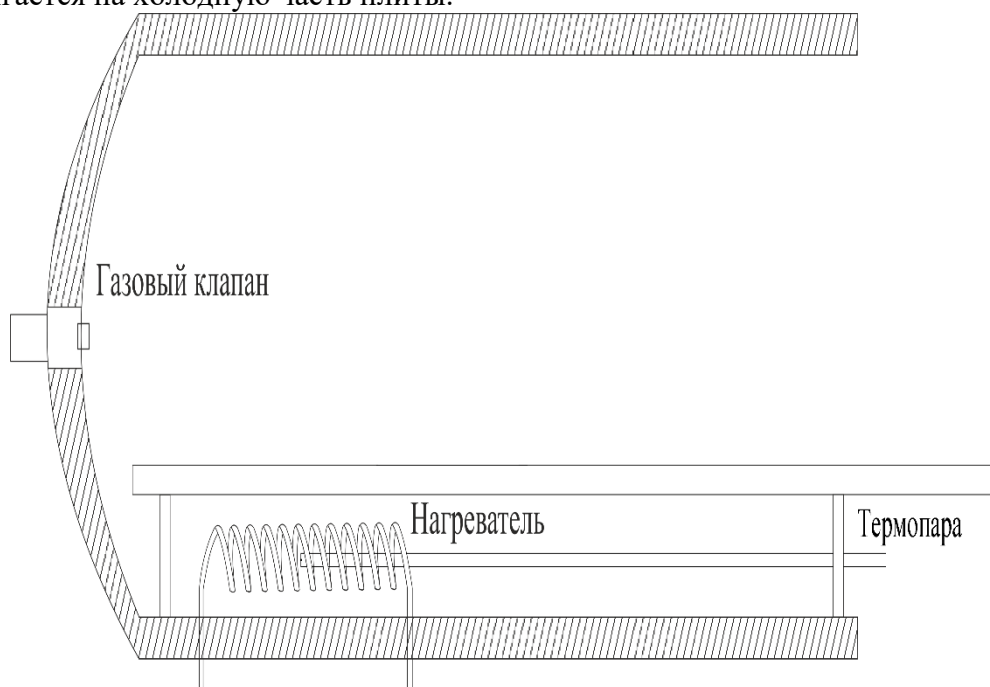


Рисунок 1. Схема установки для термообработки омических контактов.

Металлизация омических контактов формировались на установке электронно-лучевого напыления металлов Kurt J. Lesker AXXIS. Измерение контактных сопротивлений производилось по (МПЛ) методу передающей линии [7]. Перед измерениями производилась изоляция активных областей транзисторов, для чего в аммиачно-перекисном травителе формировались мезы тестовой МПЛ структуры с прямоугольными металлизированными областями шириной 100мкм. Для экспериментов использовались гетероструктуры из одного эпитаксиального процесса диаметром 76мм. После формирования металлизации и мезы пластину резали на части размером $1*1\text{см}^2$ и вжигали.

Результаты эксперимента.

Следует заметить, что температура образца при вжигании всегда остается меньше, чем температура нагревательного элемента. На рисунке 2 представлен график изменения температуры образца при задании температуры контрольного датчика на 500°C . Для точного контроля температуры термopара прижималась на поверхность образца.

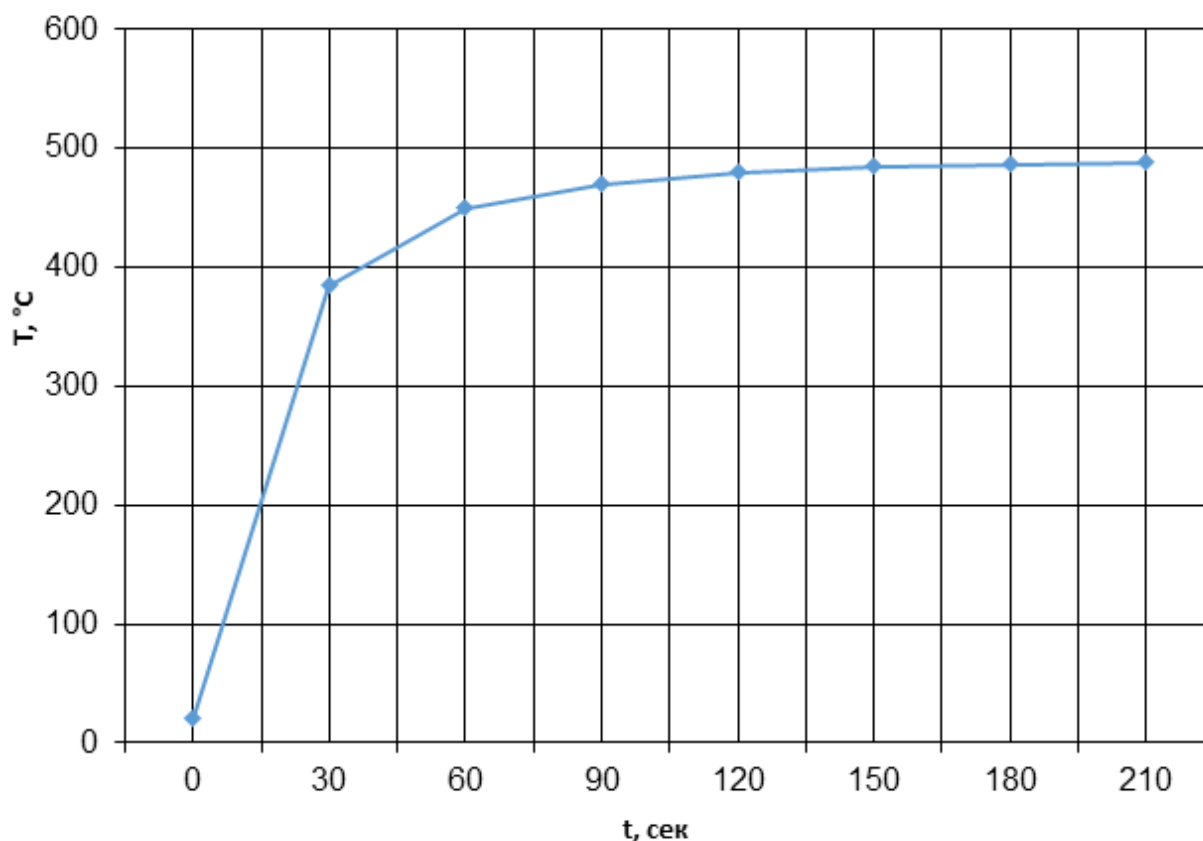


Рисунок 2. Зависимость температуры образца от времени нахождения на горячей плите при заданном потоке газа и температуре горячей плиты 500°C .

Температура образца при задании температуры плиты сначала изменяется со скоростью более 10 градусов в секунду, затем скорость роста сильно замедляется, и температура образца практически перестает расти после выдержки на плите более двух с половиной минут. Наступает динамическое равновесие – температура образца задается с помощью нагрева и потока газа, то есть поступление газа в печь также может определять условия, при которых происходят диффузные процессы. Исходя из этих соображений, был поставлен эксперимент по исследованию влияния времени вжигания в диапазоне от 60сек до 150сек на уменьшение контактного сопротивления омических контактов (Рисунок 3). При меньшем времени вжигания, контакты оставались нелинейными, при большем времени ухудшалась морфология, искажался край контакта, появлялись капельные образования.

При нелинейном омическом контакте дополнительный отжиг при увеличенном времени приводил к линейности, поэтому при проведении эксперимента те же образцы после заданного времени подвергались дополнительному отжигу, что позволило в ряде случаев минимизировать величину контактного сопротивления.

Из рисунка 3 понятна необходимость детально рассмотреть влияние дополнительного отжига при разных температурах (Рисунок 4) и узкий временной промежуток первоначального вжигания в диапазоне от 1мин 20сек до 1мин 50сек (Рисунок 5), с целью установить более точное значение первоначального времени вжигания и температуры, при которых в дальнейшем можно будет получить минимальное значение для контактного

сопротивления. Также было исследовано влияние изменения потока инертного газа в диапазоне от 0,6 до 1,2 атм.) на контактное сопротивление (Рисунок 7).

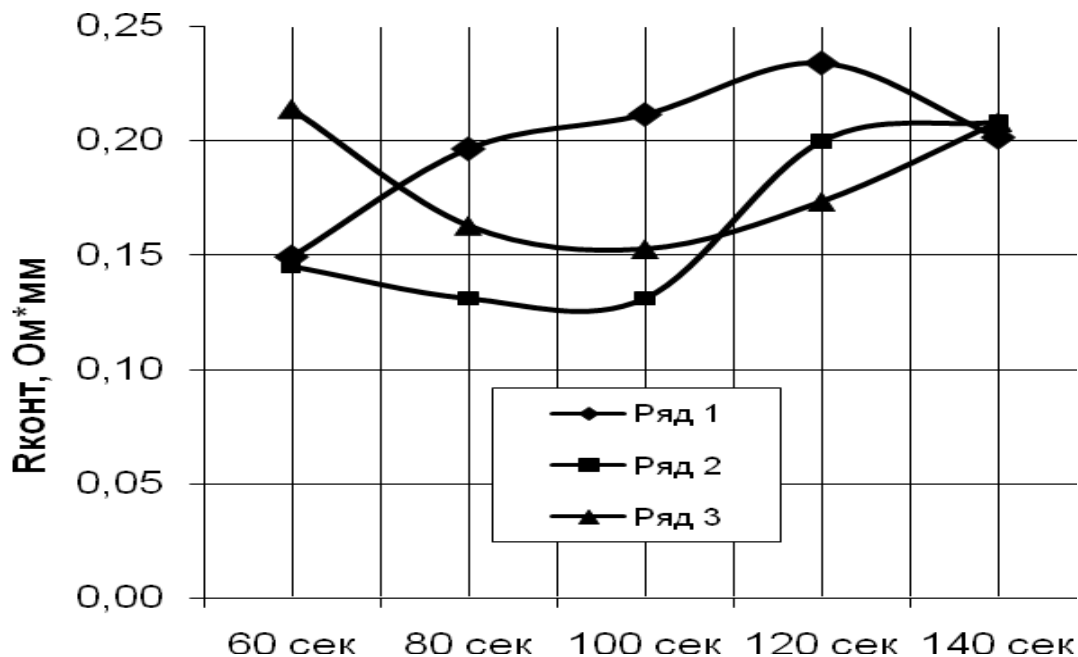


Рисунок 3. Результаты измерений контактных сопротивлений, полученные при различном времени вжигания омических контактов. (Ряд 1- первоначальное вжигание, Ряд 2-дополнительный отжиг в течение одной минуты, Ряд 3- еще один дополнительный отжиг в течение одной минуты.)

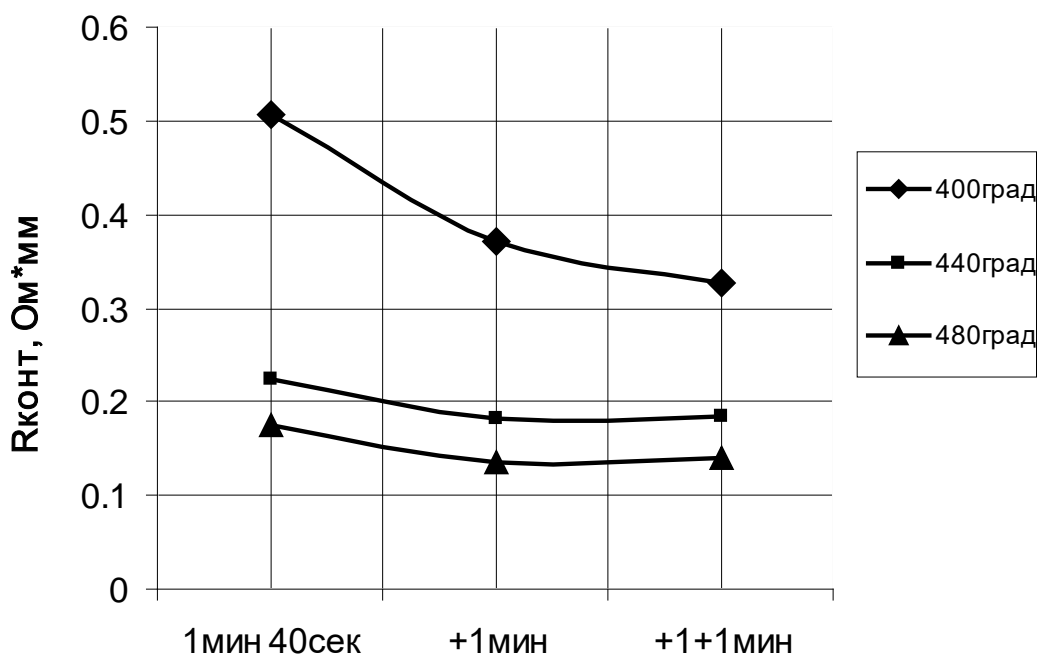


Рисунок 4 Исследование влияния времени первоначального вжигания (с более детальным рассмотрением диапазона от 1 мин 20сек до 1 мин 50сек) на уменьшение контактного сопротивления омических контактов.

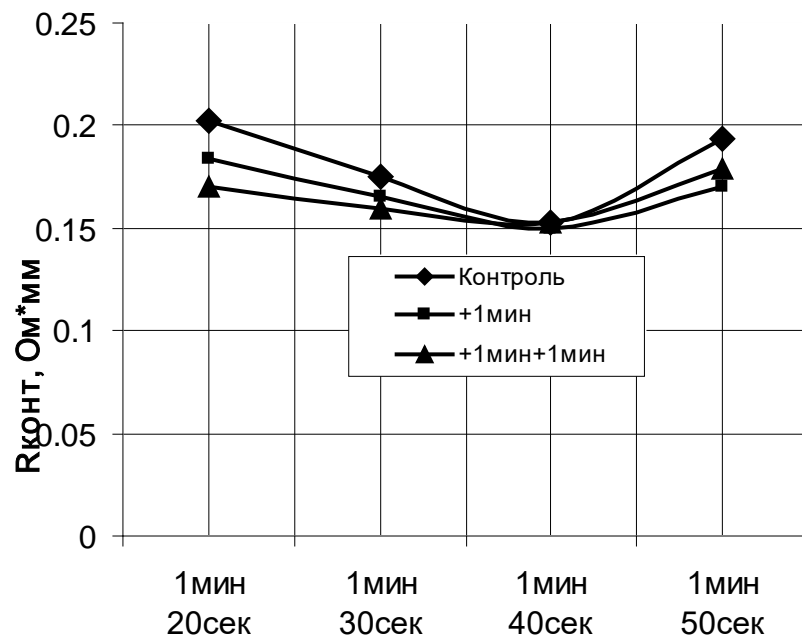


Рисунок 5. Результаты исследований контактного сопротивления при различном времени первоначального вжигания омических контактов во временном диапазоне (первоначального вжигания) от 1 мин 20 сек до 1 мин 50 сек.

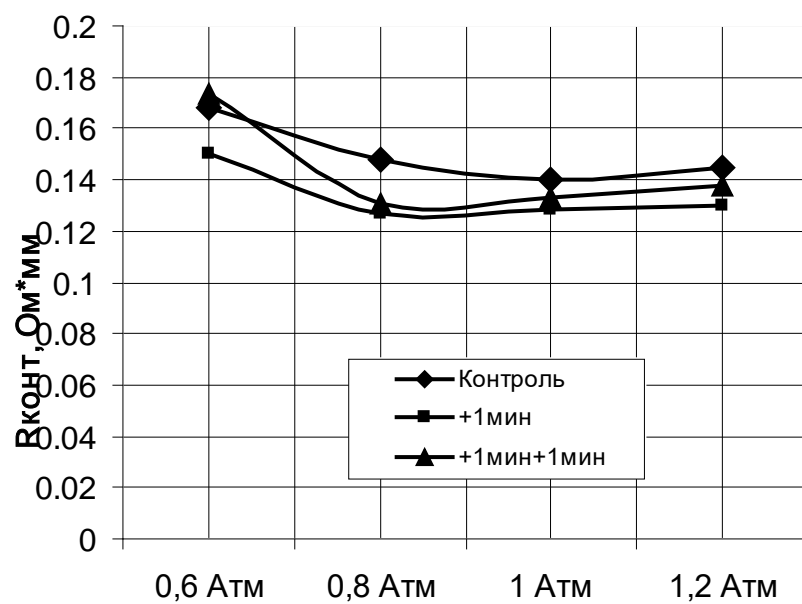


Рисунок 6. Результаты исследований контактного сопротивления при различном потоке газа и дополнительном вжигании.

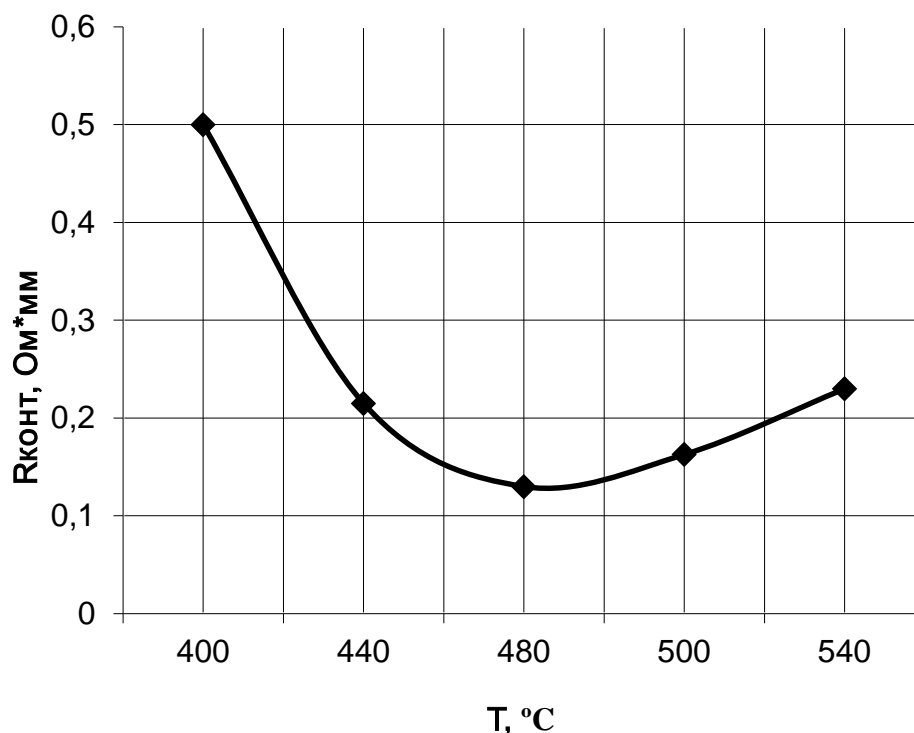


Рисунок 7. Зависимость контактного сопротивления от температуры горячей плиты.

Далее исследовалась зависимость контактного сопротивления к наногетероструктуре от температуры отжига (Рисунок 7). Имеется температурный диапазон минимального контактного сопротивления и качественно наш график совпадает с зависимостью из [8], но со сдвигом по температурной шкале, что можно объяснить разным расположением контрольного температурного датчика относительно нагревательного элемента и разной скоростью газового потока.

Рисунки 5, 6 и 7 показывают очень важные с точки зрения технологии СВЧ-транзисторов результаты. Существует диапазон давлений газа 0.8-1.1Атм, температур 470-490⁰ С и времени вжигания около 100 секунд и.при проведении вжигания в этих рамках результат будет слабо зависеть от условий проведения технологического процесса.

Заключение

В результате отработки технологических операций был оптимизирован процесс вжигания омических контактов к наногетероструктурам на основе арсенида галлия. Оптимизация режима термообработки омических контактов позволила уменьшить их контактное сопротивление до 0.15-0.13 Ом*мм, что находится на уровне зарубежных фабрики. Исследование влияния на контактное сопротивление к наногетероструктурам изменения температуры вжигания, потока газа и дополнительного отжига показало существование оптимальных параметров процесса, при которых уровень контактного сопротивления минимален и слабо зависит от вариации параметров.

Список использованной литературы:

1. Иванов В. Н., Коваленко Л.Е., Сумская Т.С., Челобеев В.Н., Яшник В.М. Морфология и структура плавных омических контактов к электронному арсениду галлия. Электронная техника. сер.2 Полупроводниковые приборы, вып.4(195), 1988, стр. 49-53.
2. Iliadis A., Singer K. E., Metallurgical Behaviour of Ni/Au-Ge Ohmic Contacts to GaAs // Solid State Communications. – V. 49. – 1984. – P. 99-101.

3. Wang L. C., Lau S. S., Hsieh E. K., Velebir J. R., Low-Resistance Nonspiking Ohmic Contact for AlGaAs/GaAs High Electron Mobility Transistors Using the Ge/Pd Scheme // *Applied Physics Letters*. – V. 54. – 1989. – P. 2677-2679.
5. Jones K. A., Linfield E. H., Frost J. E. F., Contact Resistances of NiGeAu, PdGeTiPt, and TiPd Ohmic Contacts to GaAs and their Temperature Dependence from 4.2 to 350 K // *Applied Physics Letters*. – V. 69. – 1996. – P. 4197-4199.
6. Каргин Н.И., Кузнецов А.Л., Сейдман Л.А., Чашкин Н. А., Шостаченко С.А. Формирование омических контактов в транзисторе с высокой подвижностью электронов с метаморфным гетеропереходом на основе арсенида галлия. *Электронная техника. сер.2 Полупроводниковые приборы*, вып.1(232), 2014, стр. 72-81.
7. Шур М. Физика полупроводниковых приборов / М. Шур. – М.: Мир, 1992. -479 стр.
8. Иващук А. В. Тепловые режимы формирования омических контактов к арсениду галлия. *Технология и конструирования в электронной аппаратуре*, 2000, №5-6, 2000, стр. 40-43.