

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382.049.77.002

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ «ПОВРЕЖДЁННЫХ» ОБЛАСТЕЙ
ВОКРУГ ИНДИЕВЫХ КОНТАКТОВ К p -ТИПУ КРТ
НА GaAs-ПОДЛОЖКЕ ОТ ТЕМПЕРАТУР
И ВРЕМЕНИ ОТЖИГА

А. Р. Новоселов, И. Г. Косулина

*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13
E-mail: novoselov@thermo.isp.nsc.ru*

Обнаружено, что вокруг индиевых контактов к p -типу ГЭС КРТ {310} на GaAs-подложках образуются «повреждённые» области, размеры которых зависят от температуры и времени отжига на воздухе. Экспериментально выяснено, что скорость расширения повреждённых областей для температуры отжига 90 °С составляет около 4 мкм/ч, а для температур около 120 °С — более 25 мкм/ч. После 488 часов отжига пластин ГЭС КРТ при температуре 60 °С на воздухе образования повреждённых областей вокруг индиевых контактов к p -областям не обнаружено. Исследования проведены на пластинах p -типа ГЭС КРТ на GaAs-подложках, поверхность которых закрыта диэлектриками SiO₂ и Si₃N₄ (суммарной толщиной около 0,15 мкм) с окнами, где сформированы p - n -переходы ионным легированием бора.

Ключевые слова: ГЭС КРТ, p - n -переходы, вольт-амперные характеристики p - n -переходов.

Введение. Индий применяется в изготовлении фотоприёмных устройств на основе гетероэпитаксиальных слоёв Cd_xHg_{1-x}Te (ГЭС КРТ) p -типа для формирования контактов к n -областям p - n -переходов. Известно [1], что при нанесении индия на поверхность КРТ под ним формируется переходный слой — «повреждённая» область, связанный с химическим взаимодействием индия с компонентами полупроводника, в котором наблюдается повышенная концентрация донорной примеси. В случае формирования контакта к n -типу полупроводника повреждённая область будет n^+ -слоем с низким сопротивлением. Её толщина, рассчитанная в [1] по изменению концентрации ртути в объёме КРТ для комнатной температуры, составляет ~1 нм. Для p -типа проводимости контакт является выпрямляющим. Несмотря на этот факт контакт к p -области часто формируют с применением индия для контроля технологических процессов (измерение вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик (ВАХ)) пайкой или механическим притиранием. Измерения ВАХ p - n -переходов до и после отжигов при температуре 120 °С на воздухе [2] позволили выявить негативный эффект, заключающийся в том, что размеры повреждённой области превышают 1 нм и зависят от времени отжига. В повреждённой области ВАХ p - n -переходов значительно изменяются. Темновой ток увеличивается в 2 раза и более по сравнению со значениями до отжигов. Рассчитанный коэффициент диффузии неизвестной примеси в объём ГЭС КРТ равен $2,3 \cdot 10^{-8}$ м²/с, что на четыре порядка больше известных экспериментальных данных по диффузии индия в Cd_xHg_{1-x}Te ($x = 0,224$) при температурах отжига 200–400 °С [3]. Во всех экспериментах чистота индия составляла 0,999.

Таким образом, являются актуальными исследования, направленные на выяснение влияния температуры и времени отжига на размеры повреждённых областей.

Эксперимент. В данной работе описаны результаты исследования размеров повреждённых областей при температурах отжига 60, 90 и 120 °С. Исследование проводилось на пластинах с p -типом ГЭС КРТ (толщиной около 10 мкм), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии [4] на GaAs-подложках с ориентацией $\{310\}$. Размеры пластин составляли около $9 \times 2,5$ мм. Их поверхность была закрыта диэлектриками SiO_2 и Si_3N_4 (суммарной толщиной около 0,15 мкм) с окнами, через которые осуществлялось легирование бором при формировании p - n -переходов. После ионной имплантации по стандартной технологии формировались индиевые контакты к n -областям p - n -переходов. Расположение p - n -переходов на пластине матричное форматом 4×288 . На краю каждой пластины создавался контакт механическим притиранием индия. Считалось, что если после отжига темновой ток p - n -перехода увеличивался в 2 раза и более относительно исходных значений (деградация), то он находится в повреждённой области. Точность определения размеров повреждённых областей в пластинах соответствует расстоянию между соседними столбцами p - n -переходов, равному 28 мкм. Наличие четырёх p - n -переходов в каждом столбце позволяло более точно контролировать изменение ВАХ для каждого расстояния. На рис. 1 схематично представлена часть пластины с p - n -переходами под индиевыми столбами, закреплённой на сапфире вблизи торцевого индиевого контакта. После отжига пластин при температурах 90 и 120 °С наблюдалось формирование повреждённых областей, их размеры зависели от температуры и времени. На рис. 2 показаны темновые (а) и фоновые (b) ВАХ p - n -перехода, измеренные после 5,5; 27,5; 127,5 и 497,5 ч отжига при температуре

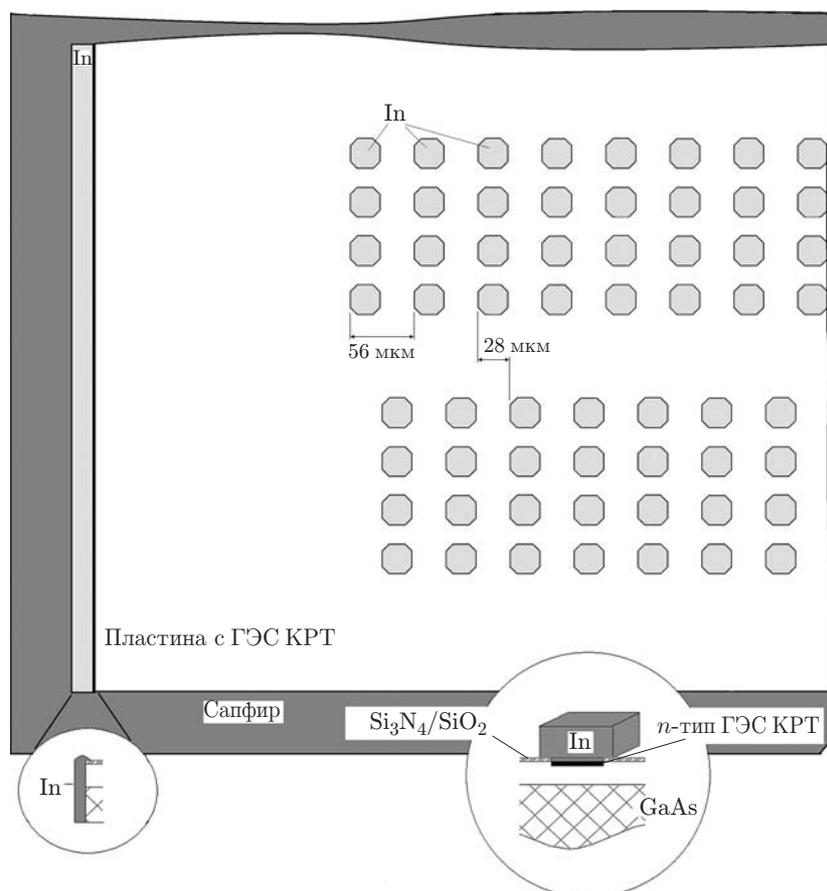


Рис. 1

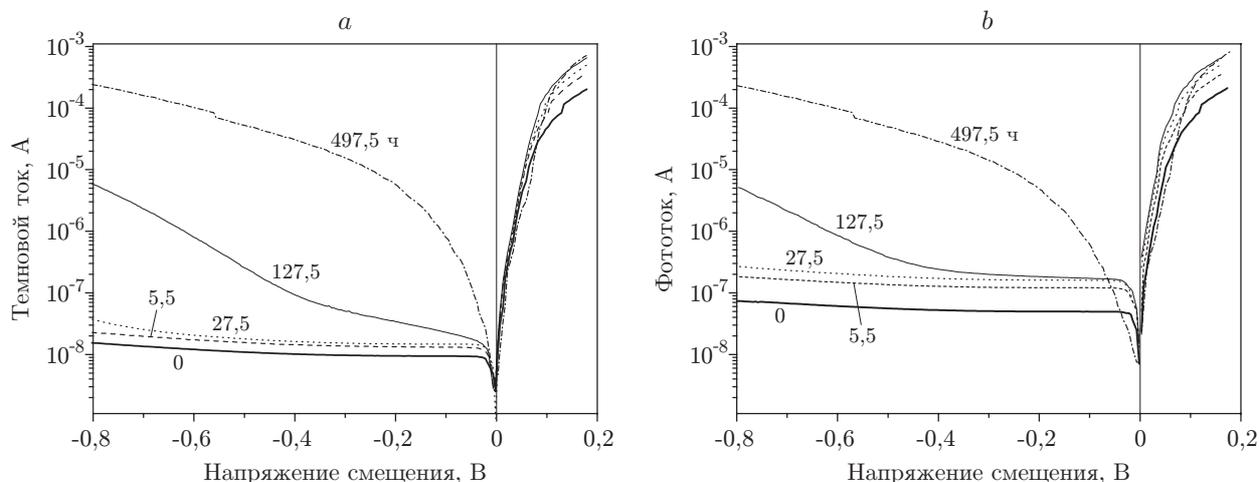


Рис. 2

90 °С. Переход располагался на расстоянии 336 мкм от индиевого контакта к *p*-области. Также было выяснено, что если после измерения ВАХ *p-n*-переходов до отжига слой ГЭС КРТ вблизи индиевого контакта испарялся лазерным излучением, то отжиги при температуре 90 °С не приводили к деградации *p-n*-переходов. Таким образом, изменение ВАХ *p-n*-переходов в результате отжигов при температурах 90 и 120 °С, возможно, обусловлено именно наличием индиевого контакта к *p*-типу ГЭС КРТ. После 488 часов отжига при температуре 60 °С увеличения тока в ближайших к индиевому контакту *p-n*-переходах (336 мкм и более) зарегистрировано не было.

Результаты измерения расстояний и рассчитанные скорости деградации *p-n*-переходов в *p*-типе ГЭС КРТ с торцевыми индиевыми контактами при разных температурах и времени отжигов сведены в таблицу.

Отметим, что в наших экспериментах промежуточные измерения ВАХ *p-n*-переходов не влияют на скорость расширения повреждённых областей при последующих отжигах. Так, на пластине с *p-n*-переходами лазерным излучением формировалась канавка, разделяющая её на две независимые области. Индиевые контакты формировались на каждой части пластины. Пластина подвергалась серии отжигов при температуре 90 °С, суммарное время составило около 660 ч. ВАХ *p-n*-переходов измерялись после каждого отжига только на одной части пластины. После окончания отжигов сравнивались размеры повреждённых областей в каждой части пластины, они составили около 2664 мкм.

Температура отжига, °С	Расстояние, на котором регистрировалась деградация <i>p-n</i> -переходов, мкм	Время отжига, ч	Средняя рассчитанная скорость распространения фронта деградации <i>p-n</i> -переходов, мкм/ч
60	—	488	—
90	560	141,5	4,00
	1120	276,0	4,05
	2240	546,0	4,10
	2800	665,0	4,20
120	392	12,0	33,00
	448	18,0	25,00

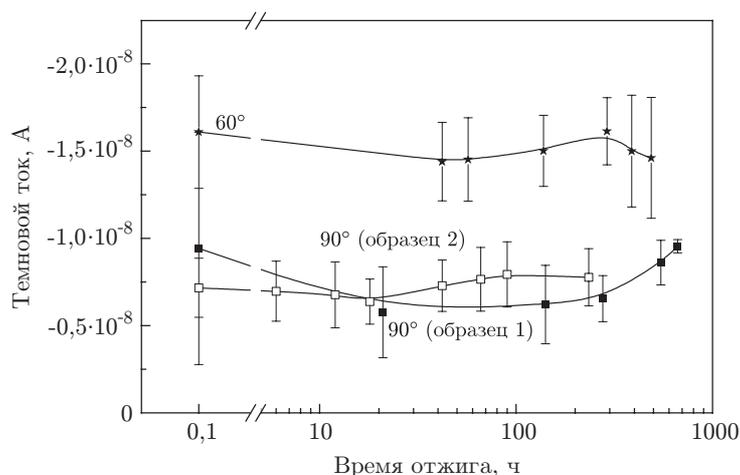


Рис. 3

Таким образом, применение индиевого контакта к p -типу ГЭС КРТ возможно кроме случаев, когда пластины нагреваются выше 60°C , при более высоких температурах необходимо учитывать размеры повреждённых областей.

Во всех экспериментах для контроля на каждой пластине измерялись ВАХ двадцати p - n -переходов, которые расположены на расстояниях, превышающих возможные размеры повреждённой области; ухудшения их электрических параметров выявлено не было.

На рис. 3 показаны изменения во времени средних значений и ширины области разброса темновых токов (обратное смещение -200 мВ) p - n -переходов в каждой пластине для температур отжига 60 и 90°C (два образца). В первые часы отжигов для этих температур наблюдалось постепенное снижение значений темновых токов p - n -переходов (20 ч при температуре отжига 90°C и 40 ч при температуре 60°C), а при более длительных отжигках — постепенное восстановление исходных значений токов.

Измерения ВАХ p - n -переходов проводились на автоматизированном лабораторном стенде при температуре 77 К не ранее чем через 24 ч после окончания отжига. Отжиг пластин осуществлялся в термостатированном шкафу. Нагрев до температуры отжига составлял не более 30 мин. По окончании отжига (после охлаждения до комнатной температуры) пластины вынимались из термощкафа.

Заключение. Размеры повреждённых областей вокруг индиевых контактов зависят от температуры и времени отжига. Так за 660 ч отжига при температуре 90°C размер повреждённой области составил около 2664 мкм. Темновые токи p - n -переходов, находящихся в повреждённых областях, при обратном смещении превышали значения до отжигов в 2 раза и более. Рассчитанная скорость расширения повреждённых областей по изменению ВАХ p - n -переходов составила около 4 мкм/ч для температуры отжига 90°C , а для температуры 120°C — более 25 мкм/ч.

Результаты проведённого исследования позволяют рекомендовать применение индиевых контактов к p -областям ГЭС КРТ для контроля технологических процессов выращивания диэлектриков и анализа характеристик p - n -переходов при условии, что в дальнейшем ГЭС КРТ не будет нагреваться выше 60°C .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стафеев В. И. Структура и свойства контактов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ — металл // Физика и техника полупроводников. 2009. **43**, вып. 5. С. 636–639.

-
2. **Новоселов А. Р., Предеин А. В., Косулина И. Г., Васильев В. В.** Оптимизация температуры сварки индиевых столбов в методе групповой сборки многоэлементных ФП // Прикладная физика. 2010. № 1. С. 73–77.
 3. **Зайтов Ф. А., Исаев Ф. К., Горшков А. В.** Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых полупроводниковых твердых растворах. Баку: Азершнер, 1984. 211 с.
 4. **Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I. et al.** Molecular beam epitaxy of high quality $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ films with control of the composition distribution // Journ. Crystal Growth. 1996. **159**, Is. 1–4. P. 1161–1166.

Поступило в редакцию 12 января 2012 г.
