

©1995 г.

ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКАХ

И.Ф. Айбазов, С.Б. Михрин, Б.Е. Саморуков

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251, Санкт-Петербург, Россия

(Получена 29 июня 1994 г. Принята к печати 11 июля 1994 г.)

Исследовано изменение при термообработке удельного сопротивления приповерхностного слоя в нелегированном высокоомном GaAs, выращенном по методу Чохральского. Термообработка проводилась при температурах до 850° С в парах мышьяка при давлениях 0.1, 1.0, 5.0 атм. Результаты интерпретируются с привлечением собственных точечных дефектов V_{Ga} и As_{Ga} .

Для исследования деградации нелегированного полуизолирующего GaAs при термообработках измерялся эффект Холла и удельное сопротивление на объемных образцах. Образцы полуизолирующего GaAs выращивались методом Чохральского из расплава, обогащенного мышьяком, и имели удельное сопротивление при комнатной температуре $\rho > 10^8$ Ом · см.

Контакты изготавливались вплавлением индия при 400° С в течение 15 мин в атмосфере водорода. Измерения удельного сопротивления и эффекта Холла проводились на постоянном токе по стандартной методике. После вплавления контактов поверхность образцов деградировала и появлялась поверхностная проводимость. Для удаления поверхностного легированного слоя образцы травились в растворе состава $1H_2O:1H_2SO_4$ в течение 15–30 с при 60° С. В результате травления удалялся слой толщиной 5–10 мкм. При этом восстанавливалось максимальное значение удельного сопротивления образцов $\rho > 10^8$ Ом · см.

Термообработка образцов полуизолирующего GaAs проводилась в парах мышьяка при температурах до 850° С в откачанных и запаенных ампулах. Давление паров мышьяка при температурах отжига было равным 0.1, 1.0, 5.0 атм.

Навески элементарного мышьяка брались из условия, что мышьяк в парообразном состоянии при температурах отжига находится в виде молекул As. Объем использования кварцевых ампул был равен 3.5×10^{-6} м³.

Откачка ампул производилась до давления $\approx 10^{-5}$ Тор.

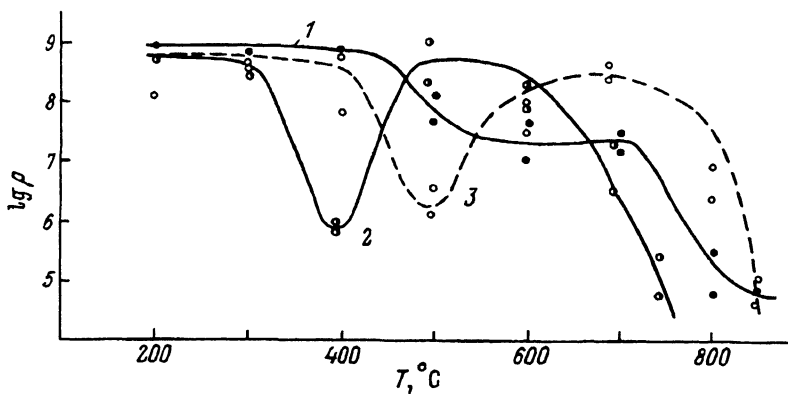


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления нелегированного полуизолирующего арсенида галлия при термообработке в парах мышьяка от температуры. Давление паров мышьяка P , атм: 1 — 0,1, 2 — 1,0, 3 — 5.

На начальной стадии эксперимента была проведена термообработка серии образцов полуизолирующего GaAs различных марок с вплавленными индиевыми контактами и серии аналогичных образцов без контактов. К последней серии образцов контакты после термообработки создавались втирированием индия при температурах ниже 150°C на воздухе. Результаты измерения удельного сопротивления для этих двух групп были практически одинаковыми, т.е. предварительно нанесенные индиевые контакты не повлияли на деградацию поверхности полуизолирующего GaAs при термообработках в данных условиях. Все последующие технологические эксперименты проводились с образцами, на которых были предварительно нанесены индиевые контакты и удален деградированный приповерхностный слой.

Из анализа результатов эксперимента видно, что отсутствует деградация при отжиге до температуры 400°C . При более высоких температурах происходит резкое уменьшение удельного сопротивления, причем поверхностный деградированный слой имеет проводимость n -типа. Затем по мере роста температуры термообработки восстанавливается исходное удельное сопротивление материала и далее до 700°C оно не меняется или слабо меняется в случае отжига при малом давлении паров мышьяка (рис. 1).

Для термообработок при температурах выше 700°C (600°C для давления $P = 5$ атм) характерно резкое уменьшение удельного сопротивления материала. В данном случае мы наблюдали проводимость p -типа в поверхностном деградированном слое.

Особое внимание следует обратить на «впадину», минимум которой приходится на 550°C для образцов, обработанных в парах мышьяка при давлении $P = 1$ атм, и 400°C для образцов, обработанных при $P = 5$ атм. Здесь наблюдается снижение удельного сопротивления на 2–3 порядка.

Мы считаем, что это происходит из-за резкой температурной зависимости коэффициентов диффузии собственных дефектов различных типов, предположительно V_{Ga} и As_{Ga} . С прямой диффузией V_{Ga} связана обратная диффузия неконтролируемых акцепторных примесей к поверхности, вследствие чего происходит падение удельного сопротивления образцов. При дальнейшем увеличении температуры возраста-

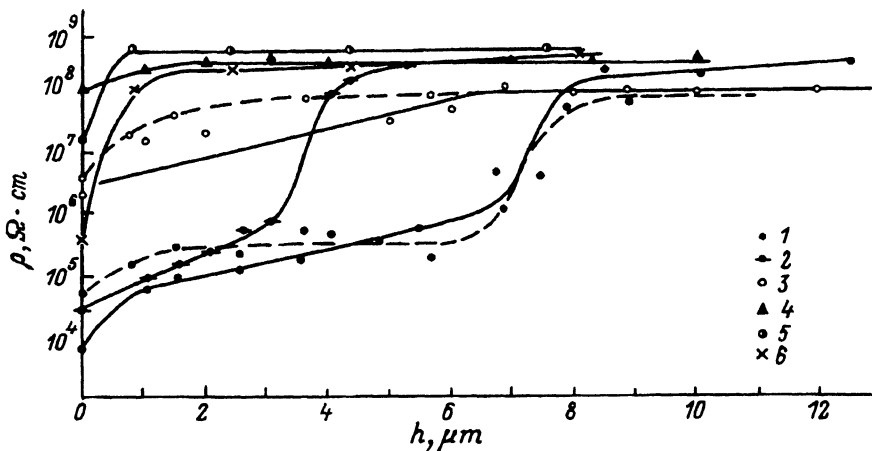


Рис. 2. Кривые распределения удельного сопротивления по глубине L термообработанных образцов GaAs. Температура обработки T , °C: 1, 2 — 850, 3 — 800, 4 — 700, 5 — 600, 6 — 500.

ет концентрация As_{Ga} в приповерхностном слое и происходит полная компенсация потока неконтролируемых акцепторных примесей, и далее восстанавливается исходное удельное сопротивление. Аналогичная форма кривой была получена в работе [1], где минимум приходился на $400^\circ C$ и удельное сопротивление падало с 10^8 до 10^6 Ом · см.

Следует отметить, что деградация электрофизических параметров в объеме при данных температурах отсутствовала. В работе [2] не наблюдалась деградация в объеме и при более высоких температурах ($\sim 1000^\circ C$). Для количественной оценки толщины деградированного слоя проводился эксперимент по послойному стравливанию термообработанных образцов. Измерялось удельное сопротивление образцов каждый раз после стравливания слоя толщиной ~ 1 мкм.

В качестве полирующего травителя для послойного травления с малой скоростью был выбран раствор состава $7H_2SO_4:1H_2O_2:1H_2O$. Скорость травления измерялась на образцах полуизолирующего арсенида галлия стандартным методом взвешивания до и после травления, и в данном случае равнялась 0.18 ± 0.02 мкм/мин (температура травителя $20^\circ C$, перемешивания нет).

Результаты экспериментов по послойному стравливанию образцов полуизолирующего GaAs, термообработанных в парах мышьяка, приведены на рис. 2.

Из экспериментальных результатов мы должны отметить существенную разницу в толщине деградированного слоя для низкотемпературной и высокотемпературной деградации, наблюдаемой при температурах 500 и $850^\circ C$ и всех давлениях паров мышьяка.

При термообработке полуизолирующего GaAs в парах мышьяка ($P = 1$ атм) отсутствует деградация электрофизических параметров не только в объеме, но и вблизи поверхности, в том случае, если температура отжига составляет $T = 700 \pm 50^\circ C$.

Были измерены спектры фотолюминесценции образцов, подвергнутых термообработке. В спектре фотолюминесценции термообработанных образцов наблюдались линии 1.36 и 1.4 эВ, которые связыва-

ются с переходами зона проводимости (или мелкий донор) — акцептор. Для линии 1.36 эВ дефект, дающий акцепторный уровень, связывается с медью; для линии 1.4 эВ — с марганцем.

В работе [3], где исследовались фотолюминесценция нелегированного полуизолирующего GaAs, термообработанного при избыточном давлении паров мышьяка, также наблюдалась полоса излучения 1.363 эВ, где ее идентифицировали как связанную с глубокими акцепторами меди.

Таким образом, падение удельного сопротивления полуизолирующего материала в приповерхностном слое может быть связано с обратной диффузией этих примесей.

Список литературы

- [1] M. Satoh, K. Yokoyama, K. Kuriama. *Proc. 6 Conf. on Semi-Insulating materials* (Toronto, 1990) p. 47.
- [2] N. Ohkubo, M. Shishikura, S. Matsumoto. *J. Appl. Phys.*, **73**, 615 (1993).
- [3] Чао Чень, В.А. Быковский, М.И. Тарасик. *ФТП*, **28**, 35 (1994).

Редактор Л.В. Шаронова

Characteristic properties of the degradation of semi-insulating gallium arsenide under thermal treatment

I.F. Aibazov, S.B. Mikhrin, B.E. Samorukov

St. Petersburg State Technical University, 195251 St. Petersburg, Russia
