

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ДИФФУЗИИ В GaAs *n*- И *p*-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ

Аракелян В. С., Бархударян Г. Р.

Исследованы излучения неодимового лазера, работающего в режиме свободной генерации и модуляции добротности с арсенидом галлия. Показано, что в зависимости от плотности энергии облучения можно получить обращенный диод, выпрямляющий переход и омический контакт.

Действие лазерного излучения на арсениде галлия изучалось рядом авторов [1-7]. В [1] исследовалось формирование *p-n*-переходов в GaAs *n*- и *p*-типа при облучении рубиновым ОКГ в режиме свободной генерации и модуляции добротности.

В настоящей работе проведены исследования взаимодействия излучения неодимового лазера, работающего в режиме свободной генерации и модуляции

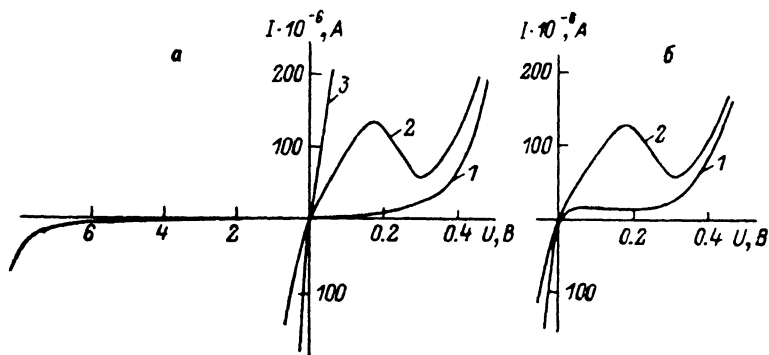


Рис. 1. ВАХ приборов, полученных диффузией Zn в *n*-GaAs.

Плотность энергии облучения J , Дж/см²: а) 1 — 10÷15, 2 — 20÷25 ($d_{Zn} = 0.025$ мкм); б) d_{Zn} , мкм: 1 — 0.01, 2 — 0.025 ($J = 20÷25$ Дж/см²).

добротности, с арсенидом галлия. В зависимости от плотности энергии облучения наблюдаются как перераспределение примеси, так и структурные изменения, связанные с испарением мышьяка и нарушением стехиометрии.

Использовался арсенид галлия *n*-типа проводимости (АГЧТ), легированный теллуром с концентрацией $2 \cdot 10^{17}$ см⁻³, и *p*-типа проводимости (АГЧЦ), легированный теллуром с концентрацией $4 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

Эксперименты проводились в диапазоне плотностей энергии облучения 5÷50 в режиме свободной генерации и 0.1÷1.2 Дж/см² в режиме модуляции добротности при длительности импульса излучения $5 \cdot 10^{-4}$ и $25 \cdot 10^{-9}$ с соответственно.

Образцы арсенида галлия перед нанесением диффузантов подвергались механической и химической полировке, и на одной из поверхностей создавался омический контакт напылением и вжиганием индия.

Диффузанты Zn (для GaAs *n*-типа проводимости) и Te, Se (для GaAs *p*-типа проводимости) наносились на другую поверхность лазерным напылением.

Толщина пленок Zn, Te и Se измерялась микроинтерферометром МИИ-10.

Исследования проводились как при однократном, так и при многократном облучении GaAs излучением лазера.

На рис. 1 приведены вольтамперные характеристики (ВАХ) структур, полученных однократным облучением арсенида галлия *n*-типа проводимости, с нанесенной пленкой Zn толщиной 10 и 25 нм в режиме свободной генерации.

На рис. 1, *a* приведены ВАХ структур, полученных при различных плотностях энергии облучения (толщина пленки Zn 25 нм). Для сравнения на рис. 1, *б* приведены ВАХ структур, полученных при той же плотности энергии облучения, но при разной толщине пленки Zn (10 и 25 нм).

Как видно из рис. 1, *a*, увеличение плотности энергии облучения от 10 до 30 Дж/см² приводит к формированию различных структур: диод, обращенный диод с участком ОДС, омический контакт. Облучение одной и той же плотностью энергии арсенида галлия с нанесенной пленкой Zn различной толщины приводит также к формированию различных структур (рис. 1, *б*).

В случае пленки Zn толщиной 25 нм изменение плотности энергии облучения приводит к изменению концентрации введенной примеси и соответственно характеристик структур (рис. 1, *a*, кривые 1, 2). Увеличе-

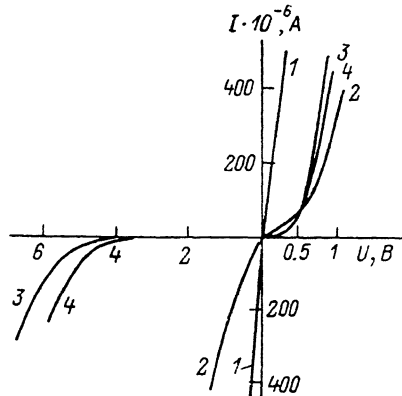


Рис. 2. ВАХ приборов, полученных диффузией Te в *p*-GaAs.

$N_a = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $\tau_n = 0.05 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, толщина пленки Te 0.05 мкм.
 J , Дж/см²: 1 — 45, 2 — 36, 3 — 28, 4 — 25.

ние плотности энергии облучения до 30 Дж/см² и выше приводит, по всей вероятности, к испарению Zn и As с поверхности арсенида галлия, к металлизации его поверхности (рис. 1, *a*, кривая 3).

На рис. 2 приведены ВАХ структур, полученных на арсениде галлия *p*-типа, покрытых теллуром, при облучении лазером в режиме свободной генерации. Как видно из сравнения рис. 1 и 2, соответствующие ВАХ смещены в сторону более высоких плотностей энергии облучения, что объясняется большим коэффициентом отражения теллура по сравнению с цинком. Слабое «обращение» диодов при соответствующих плотностях энергии облучения связано, по-видимому, с более низким порогом испарения теллура и в результате с невозможностью достижения концентрации вводимой примеси, необходимой для получения обращенного диода. ВАХ диодов, полученных при плотностях энергии облучения 25 ÷ 30 Дж/см², близки к ВАХ стабилитронов.

Структуры, аналогичные структурам с теллуром, были получены и при облучении арсенида галлия с нанесенной пленкой селена. Применение многократного облучения арсенида галлия с нанесенными Zn, Te и Se лазером в режиме свободной генерации не приводило к существенному улучшению ВАХ структур. Оно оказалось существенным при использовании лазера, работающего в режиме модулированной добротности. В этом режиме при плотностях энергии 0.15 ÷ 0.2 Дж/см² и четырехкратном облучении получены наилучшие ВАХ структуры (рис. 3) на арсениде галлия *p*-типа, покрытого теллуром. Соотношение прямых и обратных токов ~1000 при напряжении смещения 0.8 В. Наблюдается известное для других материалов снижение пробивного напряжения для структур на GaAs, полученных при облучении импульсами наносекундной длительности. Измерение напряжения U_p (рис. 1) при известной концентрации доноров N_d в *n*-области позволяет определить концентрацию введенной акцепторной примеси N_a в *p*-область.

Известно [8], что $U_p \approx (\bar{V}_n + V_p)/3$, где V_n и V_p характеризуют степень вырождения *n*- и *p*-областей соответственно:

$$V_n = \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{N_d}{N_c} \right) + 0.35 \left(\frac{N_d}{N_c} \right) \right],$$

$$V_p = \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{N_a}{N_v} \right) + 0.35 \left(\frac{N_a}{N_v} \right) \right],$$

где N_d , N_a — концентрации донорной и акцепторной примесей, N_c , N_v — эффективные плотности состояний в зоне проводимости и в валентной зоне соответственно.

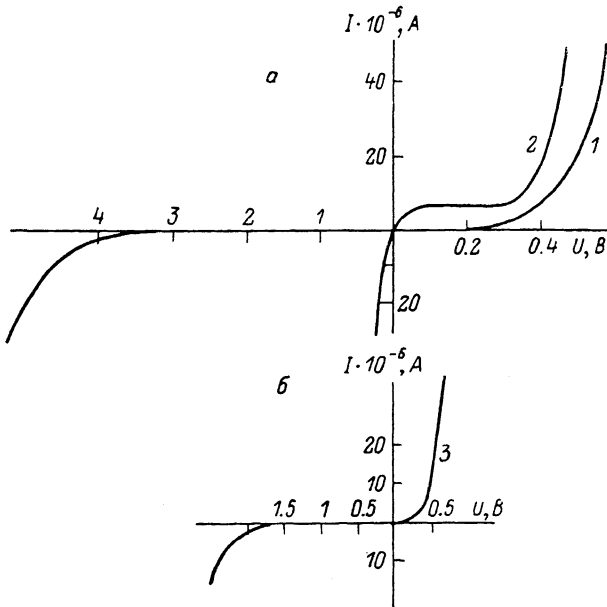


Рис. 3. ВАХ структур $n\text{-GaAs}\langle\text{Zn}\rangle$ (а) и $p\text{-GaAs}\langle\text{Te}\rangle$ (б).

$\tau_{\text{н}} = 25$ нс; J , Дж/см²: 1 — 0.2, 2 — 0.4, 3 — 0.2 (4 импульса).

Проведенные оценки показали, что в обращенных диодах концентрация введенной примеси $\sim 10^{18}$ см⁻³. Соответствующее изменение коэффициента преломления материала, вызванное изменением концентрации свободных носителей, $\sim 10^{-6} \div 10^{-7}$. Такое изменение коэффициента преломления при соответствующем облучении может привести к созданию асимметричного волновода, в котором удовлетворены условия распространения моды низшего порядка.

Л и т е р а т у р а

- [1] Пилипович В. А., Ивлев Г. Д., Моргун Ю. Ф., Нечаев Н. В., Осинский В. И., Пешко А. Я. // ЖПС. 1975. Т. 22. В. 3. С. 431—437.
- [2] Двуреченский А. В., Качурин Г. А., Нидаев Е. А., Смирнов Л. С. Импульсный отжиг полупроводниковых материалов. М., 1982. 208 с.
- [3] Ахманов С. А., Емельянов В. И., Коротеев Н. И., Семиногов В. Н. // УФН. 1985. Т. 147. В. 4. С. 675—745.
- [4] Хайбуллин И. Б., Смирнов Л. С. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 3. М. 569—591.
- [5] Алфёров Ж. И., Ковальчук Ю. В., Погорельский Ю. В., Смольский О. В., Соколов И. А. // Письма ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 19. С. 1373—1376.
- [6] Аверьянов М. Ю., Ковальчук Ю. В., Погорельский Ю. В., Смольский О. В. // Письма ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 12. С. 761—765.
- [7] Жидков В. В., Ивлев Г. Д., Моргун Ю. Ф. // Изв. АН БССР. Сер. физ. 1987. № 4. С. 89—93.
- [8] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М., 1984. 455 с.

Институт радиофизики
и электроники АН АрмССР
Ереван

Получена 6.07.1988
Принята к печати 7.12.1988