

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ InP НА СКОРОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Белоусов М. В., Гореленок А. Т., Давыдов В. Ю., Каржавин Р. В.,
Мокина И. А., Шмидт Н. М., Якименко И. Ю.

Метод комбинационного рассеяния света (КРС) использован для определения скорости поверхностной рекомбинации (S) на образцах InP, обработанных химическими травителями, применяемыми при формировании приборных структур. Скорость поверхностной рекомбинации оценивалась из анализа зависимости концентраций фотовозбужденных носителей (n) от плотности мощности возбуждения, n вычислялась по величине плазмон-фононной частоты ω^+ .

Полученные из спектров КРС значения S сопоставлялись с оценками скорости поверхностной рекомбинации методом, основанным на регистрации изменения поверхностной составляющей тока утечки $p-n$ -перехода в InP после обработки его периферии в тех же травителях. Наблюдалась хорошая корреляция между этими данными. Отмечаются преимущества использования метода КРС для определения S .

На основе проведенных исследований установлены травители, использование которых при формировании приборных структур на InP более предпочтительно.

Введение. Процесс формирования приборных структур и элементов интегральных схем методами химического травления нередко сопровождается резким ростом скорости поверхностной рекомбинации (S), что приводит к увеличению поверхностной составляющей тока утечки и ухудшению параметров структур. Контроль S на промежуточных стадиях формирования структур обычными методами затруднен, так как требует нанесения специальных электродов. В [1] было показано, что для бесконтактного измерения скорости поверхностной рекомбинации может быть использован метод комбинационного рассеяния света (КРС). Лазерное излучение, используемое для возбуждения спектров КРС, приводит к появлению фотовозбужденных носителей, и концентрация носителей в приповерхностном слое полупроводника в основном определяется плотностью мощности лазерного излучения, диффузионной длиной носителей тока и скоростью поверхностной рекомбинации. Таким образом, регистрируя спектры КРС при различных плотностях мощности лазерного излучения и определяя концентрацию свободных носителей в приповерхностном слое полупроводника по частоте плазмон-фононной моды L^+ [2], можно получить зависимость концентрации фотовозбужденных носителей от плотности мощности лазерного излучения, из которой оценивается S .

В данной работе исследовалось влияние химической обработки InP в травителях различного функционального назначения, используемых при формировании приборных структур, на скорость поверхностной рекомбинации с целью выявления травителей, обеспечивающих минимальное значение S . Полученные из спектров КРС значения S сопоставлялись с результатами измерения скорости поверхностной рекомбинации методом, основанным на изменении поверхностной составляющей тока утечки (I_n) $p-n$ -перехода в InP после обработки его периферии в тех же травителях. Величина I_n пропорциональна S , поэтому относительные изменения S могут быть оценены достаточно точно по изменению I_n , а абсолютное значение S определяется приближенно [3].

Исследования проводились на пластинах n -InP ориентации (100) с концентрацией носителей $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, с удаленным нарушенным слоем. Удаление нарушенного слоя после полировки осуществлялось методом химического травления в перемешиваемом водном растворе 10 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 : \text{HBr}$ (1 : 1) при комнатной температуре. p - n -Переходы в InP создавались диффузией Zn. Глубина залегания p - n -перехода составляла 1,5 мкм. Измерения тока утечки (I_T) проводились на мезаструктурах диаметром (D) от 50 до 500 мкм. По зависимости I_T/D от D выделялась поверхностная составляющая тока утечки I_n [3]. При напряжении смещения p - n -перехода в обратном направлении $U=1$ В значения тока утечки I_T практически совпадают с I_n . В таблице приведены значения I_T при $U=1$ В на мезаструктурах диаметрами 100 и 500 мкм. Значения I_T изменяются пропорционально периметру мезаструктуры, т. е. определяются периферией p - n -перехода.

Результаты оценки S по изменению поверхностной составляющей тока утечки и методом КРС на образцах InP, подвергнутых химической обработке

№ п. п.	Травитель	КРС		Измерения поверхностной составляющей тока утечки		
		$S, 10^3 \text{ см/с}$ (до травления)	$S, 10^3 \text{ см/с}$ (после травления)	меза $\varnothing 100 \text{ мкм}$ ($I_T, 10^{-11} \text{ А}$)	меза $\varnothing 500 \text{ мкм}$ ($I_T, 10^{-12} \text{ А}$)	$S, 10^3 \text{ см/с}$
1	$\text{HNO}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4$ (1 : 1)	1—3	2—4	—	—	—
2	$\text{HNO}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4$ (2 : 1)	1—3	2—4	—	—	—
3	$\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ (1 : 1 : 10)	1—3	2—4	6	2.3	2
4	5%-й раствор Br_2 : диметилформальдегида	1—3	5—8	15	7	—
5	Щелочные травители на основе KOH	1—3	10—20	—	—	—
6	$\text{KBrO}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4$	1—3	10—20	80	60	—

В экспериментах по КРС использовались образцы, вырезанные из одной пластины InP и предварительно проверенные на однородность и идентичность спектров КРС. Составы использованных травителей приведены в таблице. Травители 1 и 2 применяются для создания мелкого рельефа глубиной, много меньшей 1 мкм, 3 — для освежения поверхности, 4 — для создания рельефа глубиной до нескольких микрометров, 5 — для удаления резистов, 6 — для создания рельефа глубиной более 5 мкм и удаления нарушенного слоя.

Спектры КРС возбуждались аргоновым лазером ($\lambda_0=514.5$ нм, глубина проникновения света в InP ~ 90 нм) и регистрировались при комнатной температуре спектрометром ДФС-24, управляемым микро-ЭВМ. Использовалась 180-градусная геометрия рассеяния $X [Y' \cdot Y'] \bar{X}$, где X и Y' — направления [100] и [011]. При такой геометрии рассеяния от поверхности (100) в спектрах КРС разрешенным является LO-фонон. Причины появления в спектрах КРС линий при 304 см^{-1} (рис. 1), соответствующих запрещенному TO-фону, в данной работе не анализировались. Подробно этот вопрос рассмотрен в [4, 5].

Результаты эксперимента

На рис. 1 показаны спектры КРС исходной пластины InP при разных уровнях возбуждения. При минимальной плотности мощности (20 Вт/см^2) наблюдается узкая линия LO-фона с максимумом при 346 см^{-1} . Повышение мощности приводит к появлению в спектре плазмон-фононной L^+ -полосы, что свидетельствует о повышении концентрации свободных носителей. С увеличением плотности мощности лазерного излучения частота и ширина L^+ -полосы возрастают, что соответствует увеличению концентрации фотовозбужденных носителей. Зависимость частоты L^+ -моды от концентрации электронов, рассчитанная для кристаллов InP в гидродинамическом приближении [1, 6], приведена

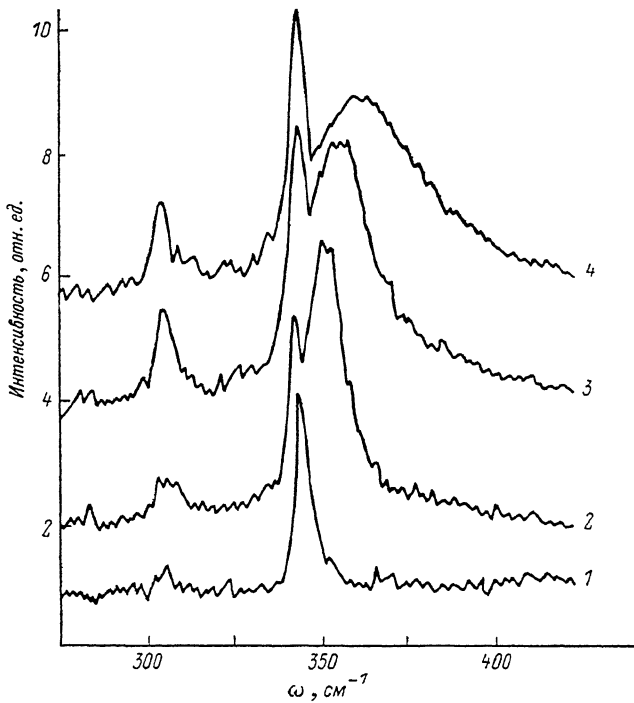


Рис. 1. Спектры КРС исходной пластины InP в зависимости от уровня возбуждения.
 1 — 20, 2 — 200 Вт/см²; 3 — 0.5, 4 — 1 кВт/см².

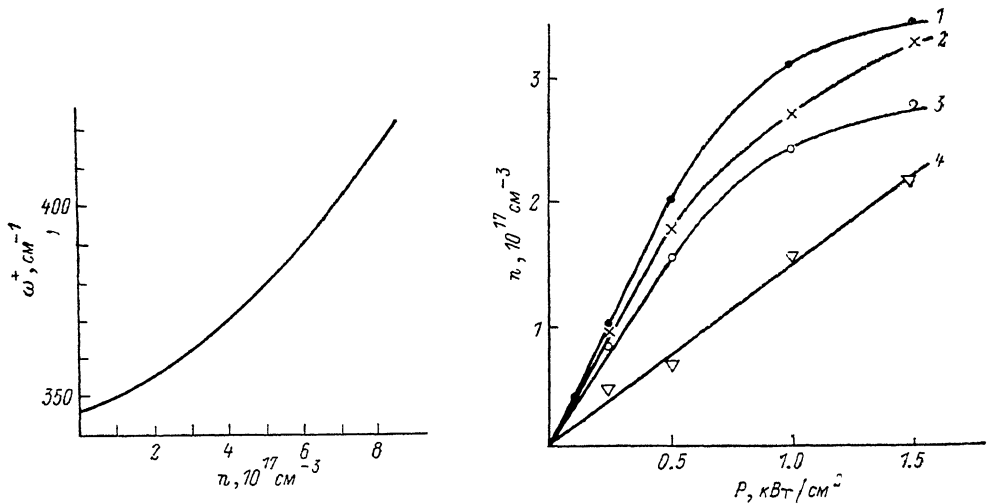


Рис. 2. Зависимость частоты ω^+ плазмон-фононной L^+ -моды от концентрации свободных носителей.

Расчет по гидродинамической модели.

Рис. 3. Зависимость концентрации фотовозбужденных носителей от плотности мощности излучения.

1 — исходная пластина, 2, 3, 4 — после обработки в травителях 1, 4, 6.

на рис. 2. Исходя из этой зависимости, получаем, что в исходной пластине InP при увеличении плотности мощности излучения до $P=1.0$ кВт/см² концентрация свободных электронов возрастает до $n \sim 3.05 \cdot 10^{17}$ см⁻³. Результаты эксперимента показывают, что зависимость $n(P)$ линейна приблизительно до $P \approx 0.5$ кВт/см² (рис. 3). При $P > 1$ кВт/см² рост $n(P)$ замедляется, что, возможно, обусловлено нагревом и деградацией поверхности под действием мощного лазерного излучения.

Величина скорости поверхностной рекомбинации оценивалась в рамках модели [7], предполагающей, что концентрация фотовозбужденных носителей в приповерхностной области n определяется процессами диффузии, рекомбинации в объеме и на поверхности.

Тогда концентрация n может быть представлена следующим выражением [7]:

$$n = \frac{P}{h\nu} \frac{\alpha\tau D}{(1 + \alpha L_p)(SL_p + D)}, \quad (1)$$

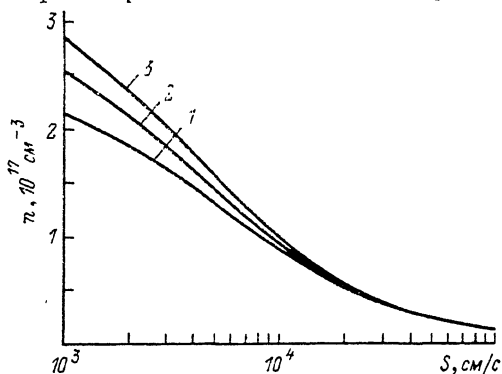


Рис. 4. Зависимость концентрации фотовозбужденных носителей от скорости поверхностной рекомбинации.

τ , нс: 1 — 200, 2 — 300, 3 — 400.

где $h\nu=2.4$ эВ — энергия кванта лазерного излучения при $\lambda_0=514.5$ нм, $\alpha=1.1 \cdot 10^5$ см⁻¹ — коэффициент поглощения возбуждающего света, τ — время жизни (типичное для исследуемых образцов значение $\tau=300$ нс [3]), $D=5$ см²/с — коэффициент амбиполярной диффузии, L_p — диффузионная длина. Зависимость $n(S)$, вычисленная по формуле (1) при $P=500$ Вт/см², представлена на рис. 4.

Таким образом, измерив частоту L^+ -моды при $P=0.5$ кВт/см², мы по кривой $\omega^+(n)$ рис. 2 находили концентрацию фотовозбужденных носителей, а затем по рассчитанной кривой $n(S)$ рис. 4 оценивали S . Так, для исходной пластины при $P=0.5$ кВт/см² $\omega^+= (357 \pm 2)$ см⁻¹, следовательно, $n \sim (2 \pm 0.3) \cdot 10^{17}$ см⁻³ и $S \sim (1 \div 3) \cdot 10^3$ см/с.

В таблице приведены значения скорости поверхностной рекомбинации на образцах InP, подвергнутых химической обработке в различных травителях. Проведенные исследования показали, что относительные изменения S , регистрируемые по изменению поверхностной составляющей тока утечки p - n -перехода, хорошо коррелируют со значениями S , полученными методом КРС. Как следует из таблицы, скорость поверхностной рекомбинации минимальна в образцах, обработанных в травителях 1—3, и применение этих травителей в процессе формирования приборных структур более предпочтительно.

Возможность определения S бесконтактным неразрушающим методом КРС с локальностью 30—50 мкм открывает большие перспективы по использованию этого метода для контроля S на различных этапах формирования приборных структур и интегральных схем на основе InP.

Список литературы

- [1] Nakamura T., Katoda T. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 8. P. 3064—3067.
- [2] Рассеяние света в твердых телах. В. 4. / Под ред. М. Кардоны, Г. Гюнтерода. М., 1986. 408 с.
- [3] Андреев В. М., Гореленок А. Т., Живгарев М. З. п др. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 4. С. 668—673.
- [4] Abstreiter G., Bauser E., Fisher A. et al. // Appl. Phys. 1978. V. 16. P. 345.
- [5] Beilmann J., Prevot B., Schwab C. J. // J. Phys. C. 1983. V. 16. P. 1135.
- [6] Nowak V., Richtyer W., Sacks C. // Phys. St. Sol. B. 1981. V. 108. P. 131.
- [7] Fahrenbruck A. L., Bube R. H. Fundamentals of solar cells. Photovoltaic Solar Energy Conversion. N. Y., 1983. 559 p.