

ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ
В ЛАЗЕРНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ GaAs И (Al,Ga)As

П. Г. Елисеев, А. В. Хайдаров

УДК 621.373:535

Изучены электрооптические и волноводные свойства полупроводниковых гетероструктур GaAs — (AlGa)As. Показано, что двулучепреломление, наведенное внутренними напряжениями, ведет к деполаризации и потерям света в волноводе, образованном гетеропереходом. Модуляция проходящего через гетеропереход линейно поляризованного света осуществлялась подачей обратного смещения порядка 2 — 3 в.

Гетероструктуры на основе GaAs и (Al,Ga)As получили широкое распространение в инжекционных лазерах /1,2/. Известно также, что в некоторых специальных двойных гетероструктурах может быть получен электрооптический эффект с весьма низким поперечным напряжением $V_{\lambda/2}$, равным нескольким вольтам /3/. С точки зрения применения гетероструктур в схемах интегральной оптики представляет большой интерес объединение в одном кристалле лазера и управляемого световода, основанное на использовании волноводных и электрооптических свойств гетероструктур.

Оптические характеристики реальных гетероструктур зависят от распределения внутренних напряжений, связанных с контактом разнородных материалов в гетероструктурах, которые ведут к наведенному двулучепреломлению, деполаризации и рассеянию излучения из световода. В настоящей работе предприняты исследования лазерных гетероструктур в отношении двулучепреломления в них, фотоупругих и электрооптических эффектов, а также связи этих свойств с лазерными характеристиками.

Образцы двойных и одинарных гетероструктур (ДГС и ОГС) исследовались с помощью инфракрасного поляризационного микроскопа

МИК-4. Обычно картина двулучепреломления в скрещенных поляризаторах представляет собой наложение двух явлений. Во-первых, волноводный слой обладает двулучепреломлением, обусловленным различием фазовых скоростей ТЕ и ТМ волн

$$\left| \frac{\Delta v}{v_{TE}} \right| = \frac{\Delta n}{n} \approx \frac{q \Delta q}{K^2 - q^2}, \quad (1)$$

где q - поперечный волновой вектор в среде, K - продольный волновой вектор, Δq - разность поперечных векторов для ТЕ и ТМ волн ($\Delta q \ll q$).

При толщине активного слоя $d = 10^{-4}$ см и $K = 2,6 \cdot 10^5$ см $^{-1}$ и скачке $\delta \epsilon / \epsilon$ на границе волновода, равном $4 \cdot 10^{-2}$ имеем $\Delta n / n = 10^{-4}$. Следовательно, при пропускании света, линейно поляризованного под углом 45° к главным плоскостям волновода, разность фаз $\pi/2$ между ТЕ и ТМ волнами наберется на длине $L = 625$ мкм при $\lambda = 0,9$ мкм. Во-вторых, прозрачные области диода могут обладать двулучепреломлением, вызванным внутренними напряжениями кристалла. В этом случае наблюдается картина двулучепреломления, наблюдаемого напряжениями вблизи гетероперехода, связанными с различием периодов решетки GaAs и (Al,Ga)As. Измерения на ряде образцов гетероструктур показали, что максимальная разность фаз между ТЕ и ТМ волнами Γ_{\max} равна примерно 15° на длине 400 мкм. Напряжения σ_{\max} , вызывающие такую разность фаз, оцениваются по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{\Gamma_{\max} \lambda E}{\pi l n^3 \Delta P}, \quad (2)$$

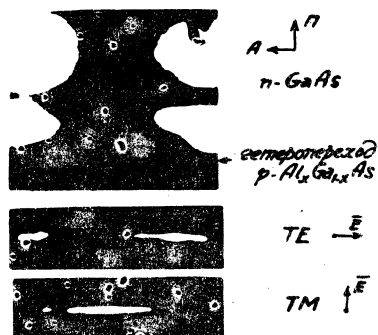
где λ - длина волны (0,9 мкм), E - модуль упругости ($\sim 10^6$ кг/см 2), l - длина образца (400 мкм), n - коэффициент преломления (3,6), ΔP - эффективный упругооптический коэффициент (0,01).

Вычисления дают $\sigma_{\max} \leq 300$ кг/см 2 . В таблице I даны значения Γ_{\max} и σ_{\max} для диодов различных типов.

Распределение остаточного двулучепреломления и распределение интенсивности когерентного излучения в волнах типа ТЕ и ТМ оказываются взаимосвязанными, как это видно на рис. I. В центральной области диода преобладает излучение типа ТМ, вследствие более низкого порога для волны этого типа при одноосном давлении, согласно /4/. На периферии преобладает излучение типа ТЕ, что отражает

Таблица I

Тип структуры	№ образца	Толщина диода мкм	Толщина гетеро-структуры, мкм	$x, \%$	Γ , град.	σ , кг/см^2
p-n	3	200	30	0	2	40
ОГС	II	150	25	25	5	100
	I2	150	30	25	15	300
ДГС	I5	150	10	20	2	40



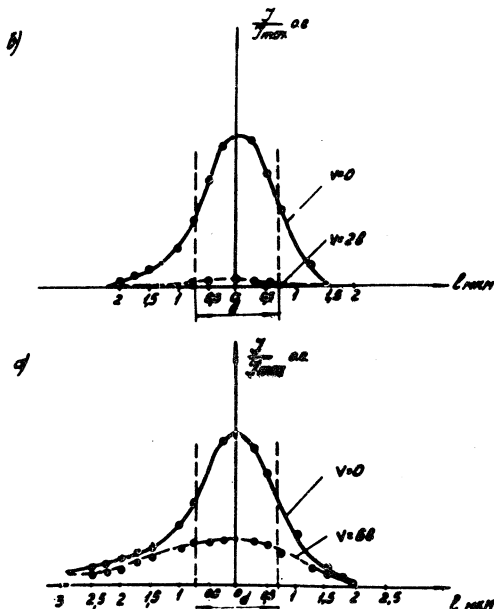
Р и с. I. Связь поляризации излучения с внутренними напряжениями в одинарном гетеропереходе

влияние остаточных деформаций на вероятность излучательных переходов с разной поляризацией излучения [5].

Для наблюдения электрооптического эффекта в ДГС гетеропереход освещался линейно поляризованным светом лампы или ЛКГ под углом 45° к плоскости волновода. Изучение, прошедшее по волноводу, регистрировалось после скрещенного анализатора фотоприемником и модулировалось подачей обратного смещения на гетеропереход, область пространственного заряда которого была меньше, чем толщина волновода в 5 - 8 раз. На опыте наблюдалось уменьшение пропускания при обратном смещении (р.ю. 2).

Получено, что популовное напряжение в волноводе толщиной 1 мкм при $\lambda = 625$ нм составляет 5 в. Оценка электрооптического коэффициента r_{41} по этим результатам дает

$$r_{41} = \frac{\lambda d}{4 \ln 2 V} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ см/В},$$



Р и с. 2. Распределение света в гетеропереходе.
а) Засветка лампой КИМ Ю - 90. б) Засветка ПКГ.

что хорошо согласуется с прямыми измерениями на объемных электрооптических модуляторах [6-7].

Таким образом, показана возможность применения лазерных гетеропереходов GaAs - (Al,Ga)As в схемах интегральной оптики не только в качестве источников когерентного излучения, но и в качестве управляемых световодов.

Поступила в редакцию
13 июня 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. И. Алферов и др. ФТТ, 2, 1545, (1968).
2. П. Г. Елисеев. Сб. Квантовая электроника. вып. 6 (12), 3 (1972).
3. F. K. Reinhart, B. L. Miller. Appl. Phys. Letts., 20, 36 (1972).
4. N. B. Pattel, J. E. Ripper, P. Brosson. IEEE J. Quantum Electronics, QE-9, N2, 338 (1973).
5. J. E. Ripper, N. B. Pattel, P. Brosson. Proc. 11th Int. Conf. on Physics of Semiconductors. Warsaw, 1972.
6. C. F. Buhrer, Lily Ho. Appl. Optics, 2, 647 (1963).
7. T. E. Walsh. RCA Review, 27, 323 (1967).
8. F. K. Reinhart. J. Appl. Phys., 39, 3426 (1968).