

ОСОБЕННОСТИ В НАПРАВЛЕННОСТИ ВЫНУЖДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ $A^{II}B^{VI}$

А. Э. Обидин, В. С. Петухов, А. Н. Печенов, Ю. М. Понов,
С. Д. Скоробун

УДК 621.373 : 826.038 : 825.4

Исследована диаграмма направленности вынужденного излучения полупроводников $A^{II}B^{VI}$ при возбуждении электронным пучком в отсутствие оптического резонатора. Обнаружено, что диаграмма состоит из лучей, имеющих различное временное поведение, а углы отклонения от плоскости возбуждения не зависят от параметров накачки.

В работе /1/ сообщалось об отклонении диаграммы направленности от оси резонатора полупроводниковых лазеров с поперечной накачкой, возбуждаемых электронным пучком, которое связывалось с асимметрией условий возбуждения. В /2/ исследовалось временное поведение диаграммы направленности таких лазеров и было обнаружено уменьшение угла отклонения диаграммы в течение импульса возбуждения.

В настоящей работе сообщается об особенностях диаграммы направленности вынужденного излучения полупроводниковых кристаллов $A^{II}B^{VI}$ в отсутствие оптического резонатора. Было обнаружено, что диаграмма направленности имеет дискретную структуру и в случае сульфида кадмия состоит из двух лучей, образующих с плоскостью возбуждения углы $2 - 3^\circ$ и $6 - 7^\circ$ с расходимостью соответственно 1° и 3° . Значение этих углов не изменялось в течение импульса возбуждения и не зависело от плотности тока накачки и ускоряющего напряжения.

Возбуждение кристаллов осуществлялось электронным пучком с энергией электронов 20 - 50 кэВ, диаметром пучка 200 мкм, длительностью импульса на полувысоте 20 нс, плотностью тока

5 - 70 А/см². В экспериментах использовались кристаллы CdS, CdSe, ZnSe, CdS_xSe_{1-x} как пластинчатые, толщиной 15 - 100 мкм, так и вырезанные из слитков. Кристаллы возбуждались при температурах 80 К и 300 К.

Основные исследования были проведены для кристаллов сульфида кадмия.

При возбуждении кристаллов электронным пучком световые лучи, выходящие из возбужденной области кристалла под углами $\psi_1 \sim 2 - 3^\circ$ и $\psi_2 \sim 6 - 7^\circ$ к облучаемой поверхности, формировали отчетливые треки, связанные, по-видимому, с люминесценцией или рассеянием света, распространяющегося через невозбужденную область кристалла (рис. 1). Более полную информацию о лучах, выходящих из возбужденной области кристалла, можно было получить путем наблюдения распределения интенсивности излучения на некотором расстоянии от боковой поверхности кристалла (дальняя зона).

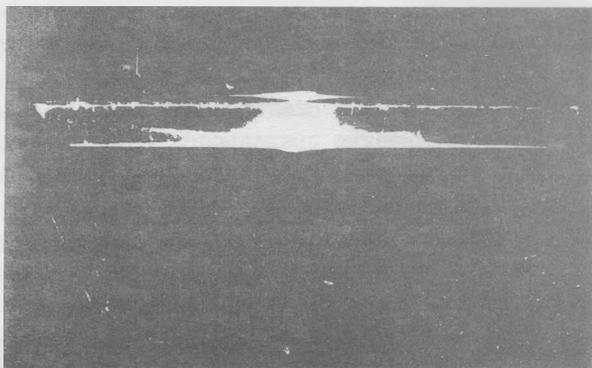
При температуре кристалла 80 К наблюдается излучение, соответствующее лучам, распространяющимся в кристалле под углами ψ_1 и ψ_2 . При комнатной температуре присутствует излучение, соответствующее лучу, идущему под углом ψ_1 .

Угол между облучаемой плоскостью и осью С кристалла варьировался в широких пределах, однако характер излучения не изменялся.

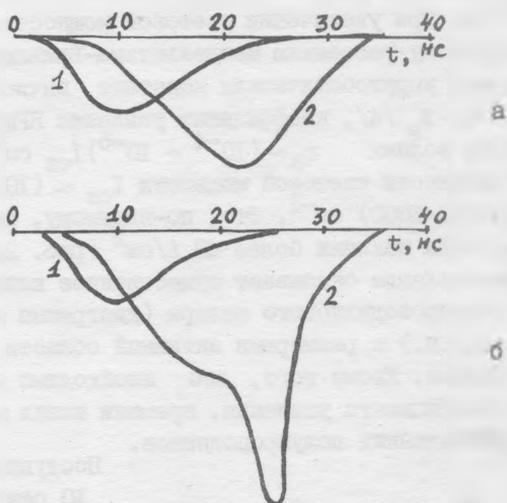
Эксперименты показали, что временное поведение излучения в лучах ψ_1 и ψ_2 различно. На рис. 2 приведено изменение во времени интенсивности лучей в течение импульса накачки. Как видно из рисунка, максимум интенсивности излучения в угле ψ_2 опережает максимум интенсивности в угле ψ_1 .

Аналогичные треки световых лучей в кристаллах CdS наблюдались также при возбуждении их азотным лазером ЛПН-21, $\tau_{\text{имп}} = 8$ нс, $P_{\text{нак}} = 1$ МВт/см², $T = 77$ К, диаметр возбужденной области 100 мкм, угол $\psi \sim 15 - 17^\circ$.

На формирование оптического поля в возбужденной части полупроводника существенное влияние оказывает изменение диэлектрической проницаемости из-за наличия усиления, вклада свободных носителей и нагрева активной области в течение импульса накачки. Из-за эффекта насыщения можно было бы ожидать установления определенной концентрации неравновесных носителей и устойчивой картины распределения поля (диаграммы направленности). Однако при токах накачки более 5 А/см², как показывает расчет, вследствие



Р и с. 1. Следы световых лучей, выходящих из активной области кристалла



Р и с. 2. Интенсивность излучения в лучах (1) и (2) в течение импульса возбуждения: а) плотность тока 15 A/cm^2 , б) плотность тока 45 A/cm^2

нагрева активной области в кристалле формируется оптический волновод с изменяющимися в течение импульса возбуждения параметрами. При этом число волноводных мод должно возрастать в течение импульса накачки и приводить к сканированию диаграммы направленности вследствие увеличения предельного угла волноводной моды.

Таким образом, учитывая только образование оптического волновода, трудно объяснить постоянство углов, под которыми выходит излучение, в течение импульса накачки и при изменении уровня возбуждения. Возможным механизмом, приводящим к стабильным значениям углов выхода излучения из активной области, может быть рассеяние Манделъштама-Бриллюэна на акустических волнах с частотами $\Gamma - 4$ ПГц, распространяющихся от облучаемой поверхности вглубь кристалла. Такие фононы могут генерироваться горячими неравновесными носителями, которые образуются при возбуждении кристалла. При этом спектр акустических шумов, а соответственно и углы отклонения диаграммы направленности, определяются проводимостью кристалла в активной области [3]. Необходимая акустическая мощность для формирования диаграммы направленности с учетом резонансного характера РМБ ($h\nu \sim E_g$), оказывается достаточно малой $\sim 10^{-3}$ Вт. При увеличении световой мощности возможен переход к вынужденному рассеянию Манделъштама-Бриллюэна (ВРМБ). С учетом величины упругооптических констант, вычисленных вблизи резонанса $h\nu \sim E_g/4$, коэффициент усиления ВРМБ на продольных акустических волнах $\epsilon_B \sim (10^{-4} - 10^{-5}) I_{св} \text{ см}^{-1}$, ($I_{св}$ в Вт/см²), что дает для плотности световой мощности $I_{св} \sim (10^5 - 10^7)$ Вт/см² значения $\epsilon_B \sim (10 - 1000) \text{ см}^{-1}$. Это, по-видимому, имеет место при плотностях тока накачки более 40 А/см² (рис. 2а, б).

Наблюдаемое явление оказывает существенное влияние на характеристики полупроводникового лазера (диаграмма направленности, мощность, к.п.д.) с размерами активной области, превышающими десятки микрон. Кроме того, его необходимо учитывать при исследовании коэффициента усиления, времени жизни и других характеристик возбужденных полупроводников.

Поступила в редакцию
10 сентября 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. О. В. Богданкевич, В. А. Гончаров, Б. М. Лаврушин, В. С. Летохов, А. Ф. Сучков, ФТП, 1, 7, (1967).
2. В. К. Garside, J. Shewchun, В. S. Kawasaki, J. Appl. Phys., 42, N 10, 4050 (1972).
3. D. L. White, J. Appl. Phys., 33, N 8, 2547 (1962).
4. В. М. Левин, Р. Г. Маев, И. А. Полуэктов, Препринт ФИАН № 122, 1975 г.