

## ВЫНУЖДЕННОЕ РАССЕЯНИЕ МАНДЕЛЬШТАМА – БРИЛЛЮЭНА В КРИСТАЛЛАХ CdS ПРИ УСИЛЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ФОНОНОВ

*А.М. Дьяконов, В.В. Леманов, М.Саттикулов*

Исследовано вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна в кристаллах пьезополупроводника CdS в условиях усиления акустических фононов. Показано, что при достаточно больших коэффициентах усиления порог вынужденного рассеяния снижается на несколько порядков.

Вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна (ВРМБ) изучалось во многих кристаллах и жидкостях [1 – 6]. Пороговую интенсивность света, необходимую для развития временной неустойчивости процесса ВРМБ, в режиме бегущих волн можно оценить по формуле [1, 2]

$$I_0^* = A \frac{\lambda_0 c (a_a + a_c)^2}{M_2 \nu} \quad (1)$$

Здесь  $\lambda_0$  – длина волны света,  $c$  – скорость света,  $\nu$  – частота акустических фононов, участвующих в рассеянии,  $a_a$ ,  $a_c$  – коэффициенты поглощения акустических и световых волн соответственно,  $M_2$  – фактор акустооптической добротности, равный  $M_2 = p^2 n^6 / \rho \nu^3$ , где  $p$  – фотоупругая постоянная,  $n$  – показатель преломления,  $\rho$  – плотность,  $\nu$  – скорость упругих волн. Коэффициент  $A$  по порядку величины равен  $A \approx 0,1$ , а его точное значение зависит от способа определения порога (в наших последующих оценках будет использоваться значение  $A = 0,1$ ). Из (1) следует, что при обычных для ВРМБ частотах акустических фононов ( $\nu \approx 10^{10}$  Гц) и при обычных коэффициентах поглощения в кристаллах ( $a_a \approx 100 \text{ см}^{-1}$ ,  $a_c \lesssim 1 \text{ см}^{-1}$ ) порог составляет  $I_0^* \approx 10^3 \text{ МВт/см}^2$  и определяется в основном поглощением акустических фононов. В случае, когда акустические потери компенсируются и, даже, сменяются усилением, как это имеет место, например, в пьезополупроводниках за счет сверхзвукового дрейфа носителей во внешнем электрическом поле  $E_0$ , порог ВРМБ должен существенно снижаться. Этот вопрос рассматривался в ряде работ [7 – 10], но экспериментально не исследовался.

В настоящей работе сообщаются результаты экспериментов по ВРМБ в фотопроводящем кристалле CdS (точечная группа  $C_{6v}$ ). Такие кристаллы в темноте являются почти изоляторами и для получения в них эффективного акустоэлектронного взаимодействия необходима подсветка кристаллов. Используемые нами образцы имели проводимость при освещении  $\sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  и подвижность носителей  $\sim 200 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{В}$ . Геометрия рассеяния выбиралась таким образом, что в процессе рассеяния участвовали пьезоактивные поперечные акустические фононы, распространяющиеся в базисной плоскости с поляризацией вдоль оси  $C(Z)$ . Исследования ВРМБ проводились в неколлинеарной геометрии, при которой частота акустических фононов не превышала 1000 МГц. Отметим, что обычно при изучении ВРМБ используется геометрия обратного рассеяния, однако для фотопроводящих кристаллов сульфида кадмия при частоте обратного рассеяния ( $\sim 13 \text{ ГГц}$ ) эффективность электрон-фононного взаимодействия резко падает и в электрических полях  $E_0$  удается лишь скомпенсировать малую ( $\sim 0,1\%$ ) часть решеточного поглощения акустических фононов. В то же время при частотах  $\nu \lesssim 10^9 \text{ Гц}$  можно полностью скомпенсировать решеточное поглощение и получить чистое усиление акустических волн.

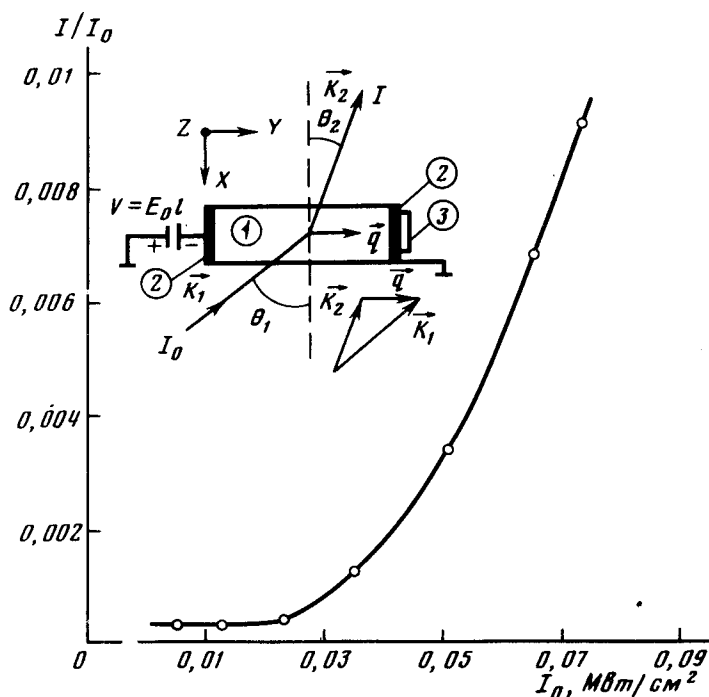


Рис. 1. Зависимость относительной интенсивности рассеянного света от интенсивности падающего света и схема эксперимента: 1 – образец сульфида кадмия длиной  $l = 5 \text{ мм}$ , 2 – индиевые электроды, 3 – пьезопреобразователь,  $k_1, k_2, q$  – волновые векторы падающего и рассеянного света и акустических волн соответственно. Частота акустических волн 250 МГц

В наших экспериментах использовался рубиновый лазер ( $\lambda_0 = 0,694$  мкм) с модулированной добротностью и с длительностью импульсов  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  сек. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Исследования проводились при частотах акустических волн от 250 до 1000 МГц (частота определялась углами  $\theta_1$  и  $\theta_2$ ). Результаты, полученные для разных частот, оказались качественно подобными и ниже приводятся данные лишь для частоты 250 МГц.

Эксперимент показал, что без тянущего поля  $E_0$  (поле прикладывалось в виде импульсов длительностью 10 мксек) в кристалле без подсветки и с подсветкой ВРМБ отсутствует до  $I_0 \sim 10$  МВт/см<sup>2</sup> (при больших  $I_0$  происходили локальные разрушения образца, связанные, по-видимому, с поглощением света на дефектах). В кристалле же с подсветкой при одновременном приложении поля  $E_0$  наблюдалось ВРМБ, причем только в стоксовой геометрии рассеяния. ВРМБ регистрировалось по резкому возрастанию интенсивности рассеянного света и по акустическому импульсу, который возбуждался в процессе ВРМБ и принимался пьезопреобразователем (рис. 1). Порог ВРМБ определялся как интенсивность лазера, при которой относительная интенсивность рассеянного света возрастала в пять раз по сравнению с интенсивностью фона, обусловленного процессами упругого рассеяния (рис. 1). Зависимость  $I_0^*$  от тянущего поля  $E_0$  показана на рис. 2.

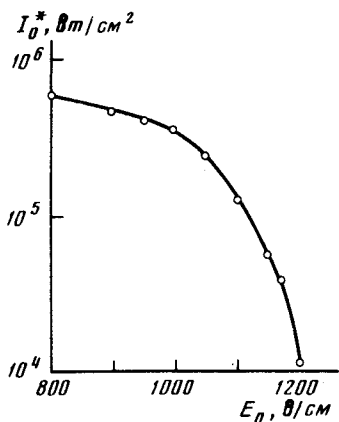


Рис. 2. Зависимость порога ВРМБ от электрического поля дрейфа  $E_0$ .

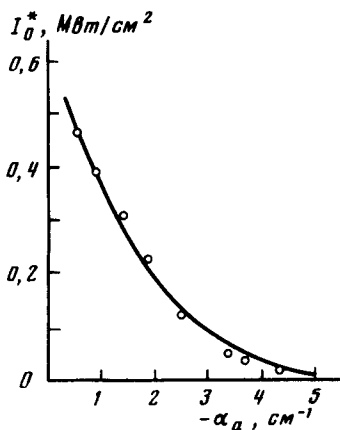


Рис. 3. Зависимость порога ВРМБ от коэффициента усиления акустических волн. Сплошная кривая проведена в предположении экспоненциальной зависимости

Для получения зависимости порога  $I_0^*$  от коэффициента усиления проводились независимые измерения коэффициентов усиления для акустических волн, введенных в кристалл с помощью пьезопреобразователя. Эти измерения выполнялись акустооптическим методом с использованием гелий-неонового лазера. Особое внимание при этом уделялось выяснению возможного влияния рубинового лазера на электрические параметры образца, а, следовательно, на коэффициент усиления. Известно, что мощное излучение рубинового лазера за счет процессов двухфотонного поглощения может приводить к увеличению концентрации носителей, однако измерения коэффициента усиления при одновременном воздействии рубинового лазера показали, что при интенсивностях лазера, менее  $\sim 1$  МВт/см<sup>2</sup> не происходит заметных изменений коэффициента усиления. Зависимость  $I_0^*$  от измеренного таким способом коэффициента усиления приведена на рис. 3. Из рисунка следует, что с увеличением коэффициента усиления наблюдается экспоненциальное снижение порога.

При  $E_0 = 0$  в кристалле с подсветкой поглощение акустических волн определяется практически полностью электрон-фононным взаимодействием и составляет для наших частот  $\alpha_a \approx 30$  см<sup>-1</sup>. Тогда, если воспользоваться (1), то порог ВРМБ оказывается равным  $I_0^* \approx 3 \cdot 10^3$  МВт/см<sup>2</sup>. Таким образом, в электрическом поле  $E_0$ , при котором поглощение сменяется усилением, наблюдается снижение порога ВРМБ на несколько порядков.

Авторы выражают признательность А.М. Данишевскому, Ю.В.Илисаевскому и В.М. Рысакову за обсуждение результатов.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
26 февраля 1980 г.

### Литература

- [1] В.С.Старунов, И. Л.Фабелинский. УФН, **98**, 441, 1969.
- [2] R.Y.Chiao, C.H.Townes, B.P.Stoicheff. Phys. Rev. Lett., **12**, 592, 1964.
- [3] С.В.Кривохижа, Д.И.Маш, В.В. Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. Письма в ЖЭТФ, **3**, 378, 1966.
- [4] И.И.Ритус, А.А.Маненков. Письма в ЖЭТФ, **6**, 927, 1967.
- [5] Г.М.Зверев, А.Д.Мартынов. Письма в ЖЭТФ, **6**, 931, 1967.
- [6] K.Inoue. Jap. J. Appl. Phys., **9**, 1347, 1970.
- [7] R.L.Gordon. J. Appl. Phys., **39**, 306, 1968.
- [8] В.М. Рысаков. ФТТ, **10**, 2829, 1968.
- [9] D.G.Carlson. IEEE J. Quant. Electr., QE-5, 309, 1969.
- [10] I.L.Fabelinskii. Stimulated Mandelstam – Brillouin Process. Кн. А. Treatise in Quantum Electronics, vol. 1, part A, AP, 1975.