

05;07

Эффект оптического индуцирования механических колебаний в монокристаллах арсенида галлия

© В.И. Митрохин, С.И. Рембеза, А.А. Руденко

Воронежский государственный технический университет

E-mail: vmitro@vmail.ru

Поступило в Редакцию 11 января 2006 г.

Обнаружен эффект возбуждения собственных механических колебаний монокристаллических пластин высокоомного арсенида галлия импульсным световым излучением. Установлено, что интенсивность эффекта зависит от пьезоэлектрических свойств, электропроводности и внутреннего трения кристалла. Сделано предположение, что изгибная деформация пластины возникает за счет обратного пьезоэлектрического эффекта, обусловленного градиентом концентрации свободных носителей заряда в области оптического поглощения.

PACS: 72.20.Nr

При исследовании влияния оптического излучения на акустические свойства монокристаллов высокоомного арсенида галлия нами обнаружен эффект возбуждения световыми импульсами резонансных механических колебаний образца. В экспериментах использовались монокристаллические прямоугольные пластины арсенида галлия, легированного хромом, с удельным сопротивлением $10^7 \Omega \cdot \text{см}$. Образцы имели размеры $20 \times 5 \times 0.4 \text{ mm}$, ориентацию большой плоскости (100) и ориентацию длинной оси вдоль направления [110]. Исследуемые пластины устанавливались горизонтально на две кварцевые опоры в точках узлов собственных изгибных колебаний первой моды. Эксперименты проводились на установке для измерения внутреннего трения, описанной в [1]. В качестве источника оптического излучения использовался инфракрасный светодиод типа L53SF6C (длина волны 860 nm). Частота световых импульсов выбиралась равной частоте резонансных изгибных колебаний пластины.

В результате проведенных экспериментов были зарегистрированы индуцируемые световыми импульсами изгибные колебания образца на

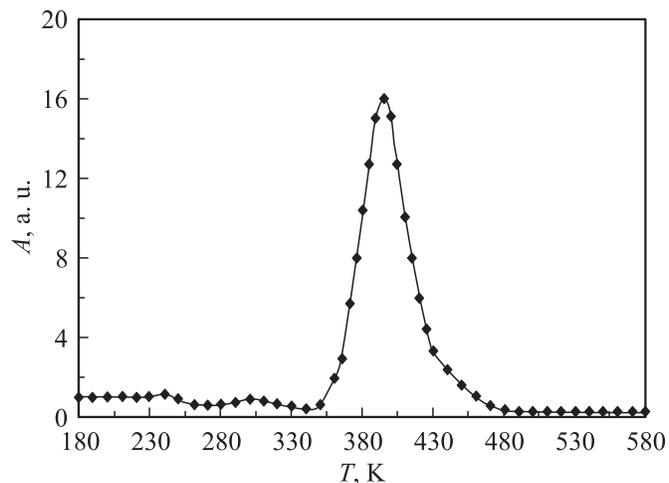


Рис. 1. Температурная зависимость амплитуды индуцированных импульсным светом изгибных колебаний пластины арсенида галлия.

частоте 6.9 кГц. На рис. 1 представлена температурная зависимость амплитуды колебаний пластины арсенида галлия. Максимальная интенсивность возбуждения наблюдалась вблизи температуры 395 К. Амплитуда изгибных колебаний образца при оптическом облучении была сравнима по порядку величины с амплитудой собственных колебаний, наблюдаемых в случае электростатического возбуждения [1], используемого при измерениях внутреннего трения. Это указывает на сравнительно высокий коэффициент преобразования оптической энергии в механическую. При одновременном оптическом и электростатическом возбуждении образца на частотах, близких к частоте механического резонанса, на экране осциллографа наблюдалась классическая картина биений с разностной частотой. Это может служить доказательством того, что обнаруженный эффект не является результатом электрических наводок или помех, а оптические импульсы действительно вызывают изгибные колебания образца. Кроме того, возбуждаемые светом изгибные колебания затухали со скоростью, определяемой величиной внутреннего трения в исследуемых образцах.

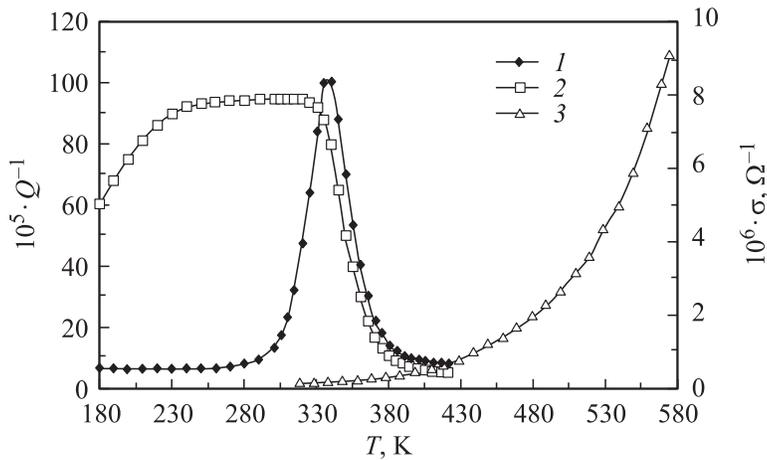


Рис. 2. Температурная зависимость внутреннего трения Q^{-1} (1, 2) и электропроводности σ (3) монокристалла арсенида галлия.

В этих же образцах была измерена температурная зависимость внутреннего трения затемненного образца (рис. 2, кривая 1) и при его оптическом облучении модулированным светом с длиной волны 860 nm (кривая 2), а также температурная зависимость электропроводности (кривая 3). Сопоставление кривых на рис. 1 и 2 показывает, что максимум амплитуды оптического возбуждения механических колебаний приходится на интервал температур $350 \div 470$ К. Именно в этом интервале наблюдаются одновременно малые значения внутреннего трения и электропроводности. При температурах выше указанного интервала резко возрастает концентрация свободных носителей заряда вследствие термической активации примесного уровня хрома (0.76 eV), что вызывает ослабление фотоэффекта. При температурах ниже указанного интервала возбуждаемые светом механические колебания демпфируются за счет высокого внутреннего трения, обусловленного электронно-механической релаксацией, связанной с пьезоэффектом [3].

Описанное выше явление, по-видимому, обязано своим происхождением обратному пьезоэлектрическому эффекту, связанному с диффузионным разделением зарядов при оптическом облучении образца.

Собственное оптическое облучение вызывает генерацию свободных носителей заряда, концентрация которых экспоненциально убывает в глубь образца. Примесные центры хрома в арсениде галлия являются глубокими акцепторными ловушками. Поэтому, несмотря на биполярный характер собственного оптического возбуждения, концентрация и время жизни неравновесных электронов в исследуемом материале оказываются меньше, чем концентрация и время жизни дырок. В результате этого возникает градиент концентрации носителей заряда одного знака, и их диффузное движение в глубь образца, приводящее в возникновению объемной разности потенциалов, аналогично эффекту Дембера [4]. Вектор электрической напряженности при этом направлен от облучаемой поверхности в глубь образца. Именно такое направление имеет пьезоэлектрическое поле при изгибной деформации пластины арсенида галлия с плоскостью (100) и ориентацией длинной грани вдоль направления [110] [2]. Нам не удалось возбудить аналогичные механические колебания при помощи импульсов света в образцах арсенида галлия с ориентацией (100)[100], (100)[111], (110)[100], (110)[110], (110)[111]. Изгибная деформация в этих случаях не создает заметной пьезополяризации в объеме образца [2].

Таким образом, в результате оптического облучения, в объеме кристалла возникает поперечное электрическое поле, которое через обратный пьезоэлектрический эффект вызывает изгибную деформацию пластины. При частоте модуляции света, равной частоте изгибной моды пластины, возбуждаются резонансные механические колебания. Выше ~ 470 К увеличение концентрации равновесных носителей заряда приводит к экранированию зарядов, возникающих за счет фотоэффекта. Ниже ~ 350 К оптическое излучение вызывает два встречных процесса: с одной стороны, происходит оптическое возбуждение механических колебаний за счет обратного пьезоэффекта, а с другой — свет способствует увеличению внутреннего трения и затуханию колебаний образца в результате электронно-механической релаксации, связанной с прямым пьезоэффектом [3]. Поэтому в температурной области, где наблюдается увеличение внутреннего трения (рис. 2, кривая 2), имеет место резкий спад амплитуды возбуждаемых светом колебаний.

Эффект, аналогичный описанному выше, наблюдался нами также в монокристаллах арсенида галлия, легированных примесью железа. При этом механические колебаний возбуждались в более широком интервале температур: 250–470 К. Это можно объяснить тем, что вну-

треннее трение описанной природы в данном материале наблюдается при температуре ниже 250 К [1].

Проведенные эксперименты позволили обнаружить эффект оптического индуцирования механических колебаний в монокристаллах высокоомного арсенида галлия, который, с учетом предлагаемого механизма, можно назвать эффектом фотопьезоиндукции.

Список литературы

- [1] Митрохин В.И., Рембеза С.И., Свиридов В.В. и др. // Перспективные материалы. 2001. № 5. С. 31–36.
- [2] Mitrokhin V.I., Rembeza S.I., Sviridov V.V. // Phys. Status Sol. (a). 1990. V. 119. № 2. P. 535–544.
- [3] Митрохин В.И., Рембеза С.И., Свиридов В.В. и др. // ФТП. 2002. Т. 33. В. 2. С. 138–143.
- [4] Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.: Физматгиз, 1963. 494 с.