

ОПТИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ЭЛЕКТРОННОЙ РЕЛАКСАЦИЕЙ, В ШИРОКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ A^3B^5

Митрохин В.И., Рембеза С.И., Ярославцев Н.П., Руденко А.А.
Воронежский государственный технический университет,
394026, Россия, Воронеж, Московский пр, 14

В полуизолирующих полупроводниках, обладающих пьезоэффектом (монокристаллы соединений A^3B^5 , A^2B^6 и др.), при измерении внутреннего трения (ВТ) наблюдается эффект аномального поглощения звука, обусловленный электронно-механической релаксацией [1]. Эффект проявляется в том, что на температурной зависимости ВТ обнаруживаются релаксационные дебаевские пики, параметры которых определяются электрофизическими свойствами компенсирующих глубоких центров (ГЦ). Акустическое поглощение, согласно работам [2, 3], вызывается процессами релаксации зарядов пьезоэлектрической поляризации, индуцированной деформацией образца, с участием носителей заряда, термически активируемых с ГЦ. На рис. 1 и 2 показаны такие пики для образцов GaAs, легированных примесями переходных металлов.

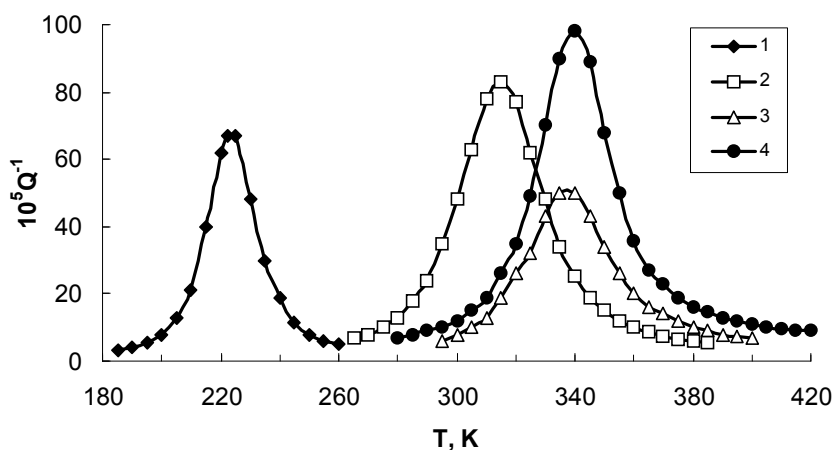


Рис. 1. ВТ в арсениде галлия, легированном переходными металлами: 1 –Fe; 2 – не легированный (ЛЕС-материал); 3 – Co; 4 –Cr. Ориентация пластин: (100), $\langle 110 \rangle$. Частота изгибных колебаний образцов – около 10 кГц

Важной особенностью данного типа релаксации является совпадение или близость энергий активации пиков с энергиям ионизации уровней легирующей примеси. При этом пики ВТ наблюдаются только в случае образцов пьезоактивной ориентации.

Температурное положение и энергия активации пика является характерными признаками, позволяющими идентифицировать тип компенсирующей примеси, а высота пика, логарифмически уменьшающаяся при возрастании проводимости кристалла, может быть использована для определения концентрации свободных носителей заряда.

Пики ВТ данной природы уменьшаются вплоть до полного подавления при освещении образца излучением, вызывающем внутренний фотоэффект. В этом случае на процесс равновесной термической активации носителей заряда с ГЦ накладывается процесс оптической генерации носителей, существенным образом изменяющий вид температурных

спектров ВТ, что иллюстрирует рис. 2.

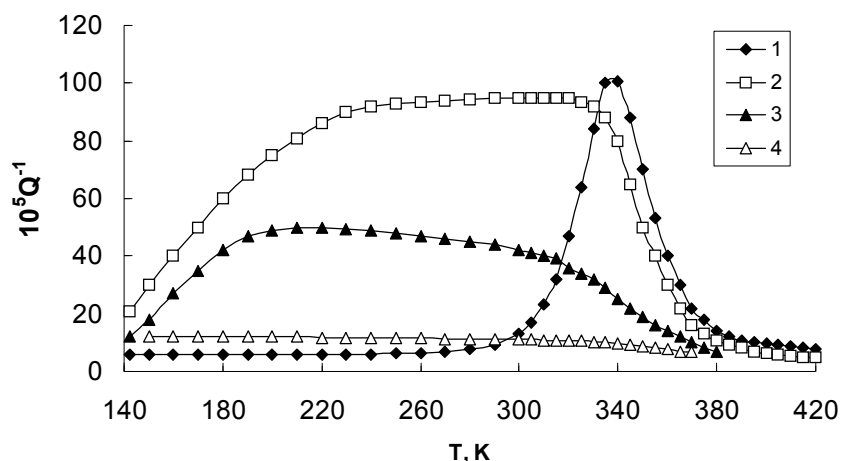


Рис. 2. Температурная зависимость ВТ в GaAs<Cr>: 1 – в темноте; 2,3,4 – при оптическом облучении ($h\nu = 1,4$ эВ) с интенсивностью E соответственно $0,3 \cdot E_{\max}$, $0,6 \cdot E_{\max}$ и E_{\max} (100 Вт/см^2).

На температурах ниже температуры пика ВТ (340 К) при импульсном оптическом облучении образцов наблюдается эффект медленной релаксации ВТ. На рис. 3 показана кривая зависимости величины пика ВТ (293 К) от времени для GaAs<Cr> при скачкообразном включении и выключении собственного излучения с энергией фотонов $h\nu = 1,4$ эВ.

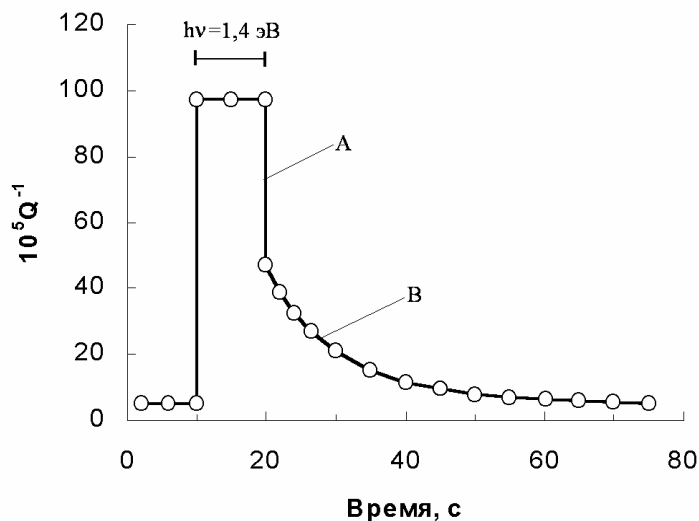


Рис. 3. Зависимость ВТ в GaAs<Cr> от времени при импульсном оптическом облучении ($h\nu = 1,4$ эВ) средней интенсивности $E=0,3 \cdot E_{\max}$. Температура образца 293 К

Из рисунка видно, что световой импульс приводит к резкому скачку ВТ с последующим медленным восстановлением темнового значения ВТ за время порядка минуты. При этом кривая спада ВТ состоит из двух участков: A – быстрой и B – медленной релаксации. Построение этой зависимости в координатах ($\lg Q^{-1} = f(t)$) позволило по наклону прямых определить время релаксации на участках A и B , которые оказались соответственно

равными $\tau_A = 1,3 \pm 0,5$ с (время быстрой релаксации) и $\tau_B = 18 \pm 2$ с (время медленной релаксации).

Температурная зависимость времени медленной релаксации τ_B показана на рис 4.

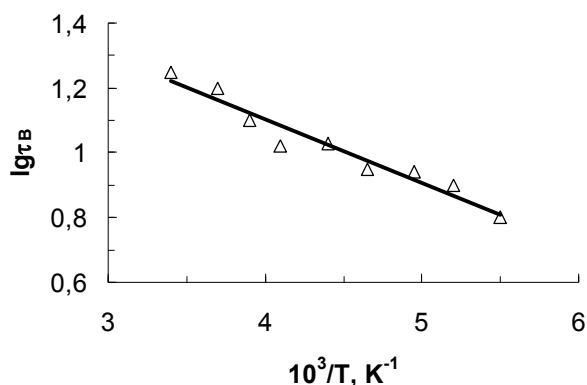


Рис. 4. Температурная зависимость τ_B в GaAs<Cr>.

Энергия активации уровня, связанного с процессом медленной релаксации, оказалась равной $0,045 \pm 0,01$ эВ. Полученная температурная зависимости $lg\tau_B$ имеет сходство с типичной температурной зависимостью времени жизни для легированных полупроводников с ловушками в области температур истощения примеси. Это указывает на связь мелких примесных состояний с процессом зарядовой релаксации, вызывающей ВТ, в условиях оптического облучения.

Механизм возникновения эффекта медленной релаксации ВТ представляется следующим. В компенсированных полупроводниках мелкие фоновые уровни являются, в основном, пустыми. При температурах ниже температуры пика ВТ концентрация термически активированных носителей заряда с ГЦ сравнительно мала и оптическая генерация оказывается основным источником свободных носителей заряда. Собственное оптическое возбуждение приводит к заполнению мелких уровней электронами из зоны проводимости. В исследованном температурном интервале вероятность обратного теплового заброса с этих уровней в зону проводимости весьма высока. В этих условиях мелкие примесные уровни играют роль центров прилипания, находящихся в условиях термодинамического обмена носителями заряда с зоной проводимости. Отключение оптического возбуждения приводит к постепенному опустошению уровней прилипания через зону проводимости. В отсутствие освещения еще некоторое время (порядка τ_B) создается спадающая во времени концентрация свободных носителей в зоне проводимости, что через обратный пьезоэлектрический эффект вызывает медленную релаксацию ВТ.

Литература

1. В. И. Митрохин, С. И. Рембеза, В. В. Свиридов, Н. П. Ярославцев. ФТТ **27**, 7, 2081 (1985).
2. V. I. Mitrokhin, S. I. Rembeza, V.V. Sviridov, N. P. Yaroslvtsev. Phys. Stat. Sol. (a). **119**, 2, 535 (1990).
3. В. И. Митрохин, С. И. Рембеза, В. В. Свиридов, Н. П. Ярославцев. Воздействие оптического излучения на внутреннее трение в пьезополупроводниках с глубокими центрами. ФТП. **33**, 2, 138 (2002)