

Г. Д. ГУСЕЙНОВ, член-корреспондент АН СССР Г. Б. АБДУЛЛАЕВ

ПЬЕЗОФОТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ НА МОНОКРИСТАЛЛАХ TlInSe_2

Вслед за открытием пьезорезистивного эффекта в монокристаллах кремния и германия ⁽¹⁾ определилась еще одна важная область широкого технического применения полупроводников — полупроводниковая тензометрия ⁽²⁻⁴⁾. Исследования в этом направлении позволяют получить прямую информацию о расположении экстремумов и деталей зонного спектра кристаллов.

В настоящей работе сообщается об одном новом экспериментальном факте, выявленном при исследовании влияния направленной деформации (растяжение вдоль (001)) на электрофизические свойства кристаллов TlInSe_2 ; это так называемый пьезофоторезистивный эффект, заключающийся в резком повышении чувствительности проводимости кристаллов к деформации с ростом интенсивности оптической подсветки.

Относительные изменения сопротивления кристалла TlInSe_2 на единицу деформации $K = \Delta R / (R_0 \epsilon)$ при различных значениях интенсивности оптической подсветки и деформации $\epsilon = \Delta l / l$ в статическом режиме приводятся в табл. 1. Как следует из табл. 1, относительное изменение коэффициента тензочувствительности $\Delta K / K$ на единицу интенсивности света $G_L = \Delta K / (KL)$ почти не зависит от степени деформации: при деформации $\epsilon = 2.2 \cdot 10^{-4}$ коэффициент $G_L = 2 \cdot 10^{-5}$ лк⁻¹, а при $\epsilon = 1 \cdot 10^{-5}$ величина $G_L = 1.7 \cdot 10^{-5}$ лк⁻¹.

Пьезофоторезистивный эффект более четко выявляется при облучении кристаллов TlInSe_2 , испытывающих деформацию в динамическом режиме; если последовательно с кристаллом, испытывающим периодическую синусоидальную растяжку и сжатие ($\epsilon = \epsilon_0 \sin 2\pi \nu t$) с частотой ν , включить батарею с постоянным напряжением V и нагрузочным сопротивлением

Таблица 1

Интенсивность подсветки, лк	$\epsilon = 1 \cdot 10^{-5}$	$\epsilon = 10 \cdot 10^{-5}$	$\epsilon = 22 \cdot 10^{-5}$
0	800	1950	5600
1000	1000	2600	5900
2800	1200	3400	6500
10000	1600	4100	8500
19000	1800	4900	11000
60000	4000	8750	22000

R_n , то на последнем возникнет переменный пьезосигнал $\Delta V(\nu, t)$, величина которого в режиме малого нагрузочного сопротивления ($R_n \ll R_k$ — сопротивление кристалла) окажется прямо пропорциональной дополнительной проводимости:

$$\Delta \sigma(\nu t) = \frac{1}{V R_n} \Delta V(\nu t). \quad (1)$$

При отсутствии оптической подсветки дополнительная проводимость $\Delta \sigma(\nu t)$ и соответствующий переменный сигнал $\Delta V(\nu, t)$ однозначно харак-

теризуют пьезопроводимость:

$$\Delta\sigma_{\text{п}}(\nu, t) = \frac{1}{VR_{\text{н}}} \Delta V_{\text{п}}(\nu t) = \frac{\Delta V_{\text{оп}}}{VR_{\text{н}}} \sin 2\pi\nu t = \Delta\sigma_{\text{оп}} \sin 2\pi\nu t; \quad (2)$$

индекс «п» у $\Delta\sigma(\nu, t)$ и $\Delta V(\nu, t)$ здесь означает пьезопроводимость и пьезосигнал, а «оп» — соответствующие амплитудные значения.

Величина амплитудных значений $\Delta\sigma_{\text{оп}}$ и $V_{\text{оп}}$ при этом растет с повышением степени деформации. Однако при оптической подсветке (рис. 1а — в) (при освещении постоянным белым светом) дополнительная проводимость

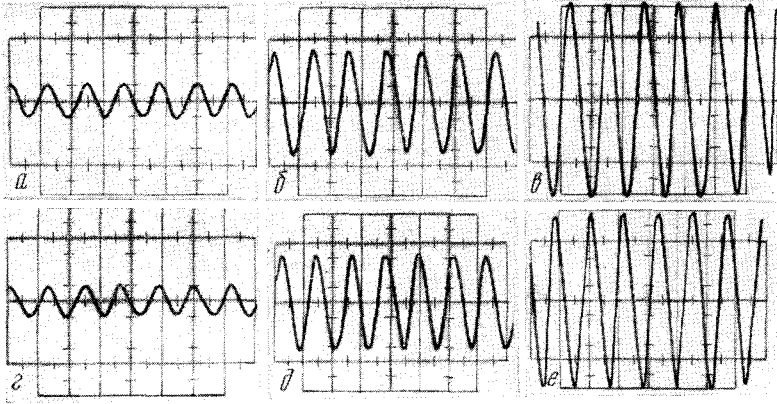


Рис. 1. Модуляция пьезопроводимости кристаллов TlInSe_2 в зависимости от степени деформации (а — е) и подсветки (г — е) (шкала по вертикали $0,5 \cdot 10^6 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}/\text{дел}$, по горизонтали 1 мсек/дел): а — $\varepsilon = 8 \cdot 10^{-5}$, б — $\varepsilon = 19 \cdot 10^{-5}$, в — $\varepsilon = 27,5 \cdot 10^{-5}$; г — $I = 0$; д — $I = 2750 \text{ лк}$, е — 6500 лк

$\Delta\sigma(\nu, t)$ и соответствующий пьезосигнал $\Delta V(\nu, t)$ в (1) аддитивно складывается из двух компонентов: пьезопроводимости $\Delta\sigma_{\text{п}}(\nu, t)$ и пьезофотопроводимости * $\Delta\sigma_{\text{пф}}(\nu, t)$ (и соответствующих сигналов $\Delta V_{\text{п}}(\nu, t)$ и $\Delta V_{\text{пф}}(\nu, t)$):

$$\Delta\sigma(\nu t) = \Delta\sigma_{\text{п}}(\nu, t) + \Delta\sigma_{\text{пф}}(\nu, t) = \frac{1}{VR_{\text{н}}} [\Delta V_{\text{п}}(\nu, t) + \Delta V_{\text{пф}}(\nu, t)]. \quad (3)$$

Следовательно,

$$\Delta\sigma_{\text{пф}} = \frac{1}{VR_{\text{н}}} [\Delta V(\nu, t) - \Delta V_{\text{п}}(\nu, t)] = \frac{1}{VR_{\text{н}}} [\Delta V_0 - \Delta V_{\text{оп}}] \sin 2\pi\nu t. \quad (4)$$

Таким образом, измеряя амплитудные значения при одной и той же деформации в темноте ($\Delta\sigma_{\text{оп}} = \Delta V_{\text{оп}} / (VR_{\text{н}})$) и при различной освещенности ($\Delta\sigma_0 = \Delta V_0 / (VR_{\text{н}})$) можно проследить за изменением величины пьезофотопроводимости с ростом интенсивности подсветки. С этой целью произведены записи (рис. 1г — е) при постоянной амплитуде $\varepsilon = 8 \cdot 10^{-5}$ синусоидальной деформации ($\varepsilon = \varepsilon_0 \sin 2\pi\nu t$) частотой $\nu \approx 85 \text{ гц}$ и при различной освещенности ($I = 0 - 6500 \text{ лк}$). Представленные на рис. 1а, б осциллограммы засняты при значениях параметров схемы $R_{\text{н}} = 10^4 \text{ ом}$ и $V = 200 \text{ в}$ для монокристалла TlInSe_2 с начальным сопротивлением в темноте $R_{\text{к}} = 8 \cdot 10^8 \text{ ом}$. Полученные при этом данные свидетельствуют о линейной зависимости амплитуды пьезофотопроводимости $\Delta\sigma_{\text{опф}} = \frac{1}{VR_{\text{н}}} (\Delta V_0 - \Delta V_{\text{оп}})$ от интенсивности подсветки. Как следует из представленных на

* Переменная ($\nu = 0$) пьезофотопроводимость $\Delta\sigma_{\text{пф}}(\nu, t)$ при этом не включает эффекта фотопроводимости, так как освещенность постоянная ($\nu = 0$).

рис. 1 осциллограмм, величина пьезосигнала при интенсивности $I = 6500$ лк и деформации $\epsilon = 8 \cdot 10^{-5}$ оказывается почти равной величине сигнала, соответствующей деформации $\epsilon = 27,5 \cdot 10^{-5}$ в темноте ($I = 0$).

Следует подчеркнуть, что наблюдаемый эффект может в значительной степени расширить возможности полупроводниковой тензометрии. Интересно в дальнейшем проверить наличие так называемого пьезоэлектрорезистивного эффекта; сильное электрическое поле может оказать существенное влияние на пьезорезистивный эффект.

Институт физики
Академии наук АзербССР
Баку

Поступило
7 II 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ C. S. Smith, Phys. Rev., 94, 42 (1954). ² M. Dean, Semiconductor and Conventional Strain Gages, 1962. ³ Л. С. Ильинская, А. Н. Подмарьков, Полупроводниковые тензодатчики, М.—Л., 1966. ⁴ Полупроводниковая тензометрия, Матер. IV конфер. по полупроводниковой тензометрии 22—27 сентября 1969 г. Львов, 1971.