

ЭФФЕКТ ПЬЕЗОМОДУЛЯЦИИ ПРОВОДИМОСТИ КРИСТАЛЛОВ $TlInTe_2$ И ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Э.М.ГОДЖАЕВ, М.Т.ДАДАШЕВ
Азербайджанский технический университет
faiq-64@mail.ru

В предьявленной работе выявлен и исследован эффект пьезомодуляции проводимости $TlInTe_2$ и на основе данного эффекта показаны возможности создания малогабаритных, высокочувствительных, универсальных полупроводниковых вибродатчиков, отличающихся повышенной чувствительностью к малым вибро смещениям, малым габаритом и независимостью уровня вибросигнала от частоты вибро смещений.

Благодаря проявлению пьезорезистивного и пьезофоторезистивного эффекта в монокристаллах типа $TlSe$, в том числе $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ и $TlGaTe_2$, переход от статических режимов к динамическим выявляет принципиально новые возможности [1,2]. Кристаллы $TlInSe_2$ при этом исследовались относительно подробнее. Рентгеноструктурные анализы и расчеты зонной структуры соединений типа $TlSe$, кристаллизующихся в тетрагональной сингонии и имеющие цепочечную кристаллическую структуру показывает, что характерно для всех трех соединений $TlInSe_2$ (Te_2) и $TlGaTe_2$ кристаллические и зонные структуры одинаковы [3-4]. В этой связи в настоящей работе мы рассматривали пьезомодуляции проводимости кристаллов $TlInTe_2$. Закрепленным с одного конца тонким стальным листом с наклеенным кристаллом $TlInTe_2$ возбуждали периодические механические колебания с частотой ν и выявили, что происходит с той же частотой модуляция проводимости. Переменная составляющая общей проводимости, т.е. пьезопроводимость определяется формулой

$$\Delta\sigma_n(\nu, t) = \sigma(\nu, t) - \sigma_0 \quad (1)$$

где $\sigma(\nu, t)$ - общая проводимость, а σ_0 - проводимость при отсутствии внешних воздействий.

Ясно, что полезный сигнал дающий, в частности, информацию о характеристиках внешних воздействий, обусловлен именно данной переменной составляющей $\Delta\sigma_n(\nu, t)$. Если последовательно с кристаллом, испытывающим растяжку или сжатие с частотой ν , включить батарею с постоянным напряжением

V и нагрузочным сопротивлением R_n (рис.1), то на последнем возникает переменный, так называемый, пьезосигнал $\Delta V_n(\nu, t)$, величина которого в режиме малого нагрузочного сопротивления ($R_n \ll R_k$ сопротивление кристалла), окажется прямо пропорциональной к пьезопроводимости :

$$\Delta V_n(\nu, t) = VR_n \Delta \sigma_n(\nu, t) \quad (2)$$

Отметим, что основные практические, а также методические задачи полупроводниковой тензометрии сводятся по определению пьезосигнала

$$\Delta V_n(\nu, t) = \Delta V_{on} \sin 2\pi \nu t$$

Частота ν и амплитудное значение пьезосигнала (ΔV_{on}) фиксировались избирательным усилителем $\Phi 510$. В зависимости от конкретной цели пьезосигнал записывается на лентах шлейфовых осциллографов типа Н-107 или же светолучевых регистраторов типа 8LS-1.

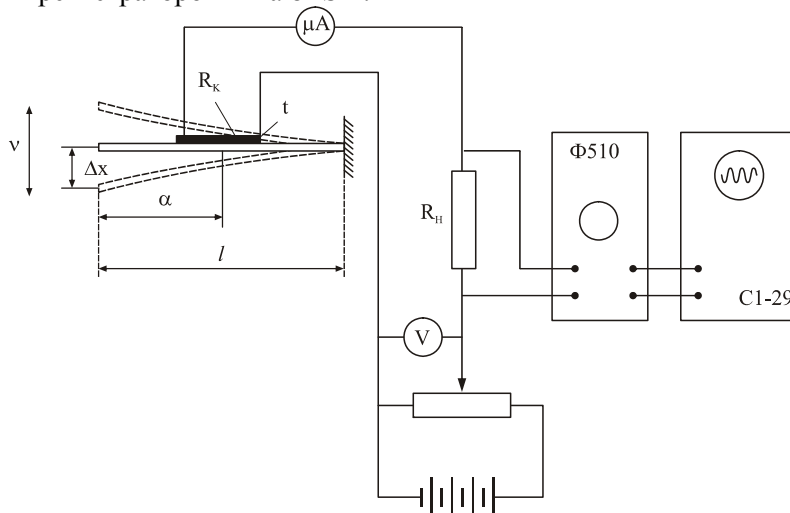


Рис. 1. Схема регистрации пьезомодуляции проводимости.

Записанный пьезосигнал с экрана приведен на рис.2. По данной системе регистраций при известных параметрах измерительной схемы (ν, R_n и R_k) определение относительного изменения сопротивления $\Delta R_n / R_k$, необходимого для оценки коэффициента тензочувствительности, также приводится к определению $\Delta V_n(\nu, t)$. Последний определяется переменной составляющей тока в цепи $\Delta I_n(\nu, t)$:

$$\Delta V_n(\nu, t) = R_n \cdot \Delta I_n(\nu, t) \quad (3)$$

По закону Ома при отсутствии деформации:

$$V = I_0(R_k + R_n) \quad (4)$$

При наличии деформации происходит уменьшение сопротивления кристалла на $\Delta R_n(\nu, t)$, ток в цепи увеличивается на $\Delta I_n(\nu, t)$ или же наоборот.

При этом:

$$V = [I_0 + \Delta I_n(\nu, t)] \cdot [R_k - \Delta R_n(\nu, t) + R_n] \quad (5)$$

После простых преобразований из (3) – (5) получается:

$$\frac{\Delta R_n(\nu, t)}{R_k} = \frac{(1 + \frac{R_n}{R_k})^2}{\frac{R_n}{R_k} + (1 + \frac{R_n}{R_k}) \frac{\Delta V_n(\nu, t)}{V}} \cdot \frac{\Delta V(\nu, t)}{V} \quad (6)$$

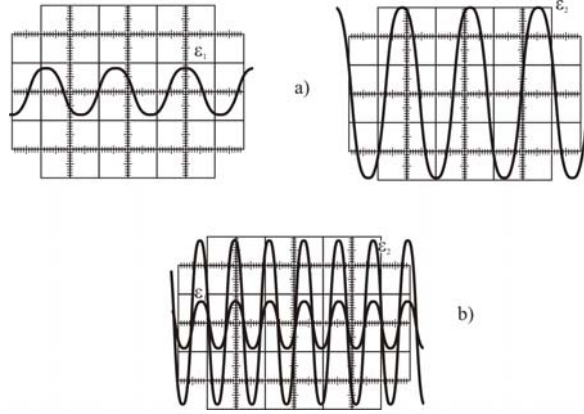


Рис. 2. Осциллограммы пьезосигнала при частотах $\nu_1 = 85$ Гц (а) и $\nu_2 = 170$ Гц (б)

$$\varepsilon_1 = 1,4 \cdot 10^{-4}, \varepsilon_2 = 2,6 \cdot 10^{-4} \quad (\text{цена 1 дел.}=1 \text{ в}).$$

В этом случае, коэффициент тензочувствительности для режима постоянного поля ($R_k \gg R_n$) определяется:

$$K = \frac{\Delta R_n}{R_k \varepsilon} = \frac{1 + 2 \frac{R_n}{R_k}}{\varepsilon \left[\frac{R_n}{R_k} + \frac{\Delta V_n}{V} \right]} \cdot \frac{\Delta V_n}{V} \quad (7)$$

Здесь $\varepsilon = \frac{3ta}{l^3} \Delta x$ (см.рис.1). Пьезопроводимости при этом согласно (6) называется:

$$\Delta \sigma_n = \frac{\Delta R_n}{R_k^2 (1 - \frac{\Delta R_n}{R_k})} = \frac{1 + \frac{R_n}{R_k}}{VR_k \left[(1 - \frac{\Delta V_n}{V}) \cdot (1 + \frac{R_n}{R_k}) \right]} \cdot \Delta V_n, \quad (8)$$

что при $\frac{R_n}{R_k} \ll 1$ ($\frac{\Delta V_n}{V} \ll 1$) переходит в (2).

Наличие пьезофоторезистивного эффекта более четко выявляется в динамическом режиме. В действительности, если кристалл испытывает синусоидальную деформацию $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin 2\pi \nu t$ при отсутствии оптической подсветки, дополнительная проводимость $\Delta \sigma$ и соответствующий переменный сигнал ΔV однозначно характеризуют пьезопроводимости:

$$\Delta\sigma_p = \frac{1}{VR_n} \Delta V_n = \Delta\sigma_{on} \sin 2\pi\nu t \quad (9)$$

Величина амплитудных значений при этом растет с повышением величины деформации или же амплитуды резонатора (рис. 3 а).

Однако, при наложении оптической подсветки (освещение белым светом) дополнительная проводимость $\Delta\sigma(\nu, t)$ и соответствующий пьезосигнал $\Delta V(\nu, t)$ аддитивно складывается из двух компонентов – из пьезопроводимости $\Delta\sigma_n(\nu, t)$ и пьезофотопроводимости $\Delta\sigma_{нф}(\nu, t)$ и соответствующих сигналов ΔV_n и $\Delta V_{нф}$:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_n + \Delta\sigma_{нф} = \frac{1}{VR_n} [\Delta V_n + \Delta V_{нф}] \quad (10)$$

Следовательно, пьезофотопроводимость:

$$\Delta\sigma_{нф} = \frac{1}{VR_n} [\Delta V - \Delta V_n] = \frac{1}{VR_n} [\Delta V_0 - \Delta V_{on}] \cdot \sin 2\pi\nu t \quad (11)$$

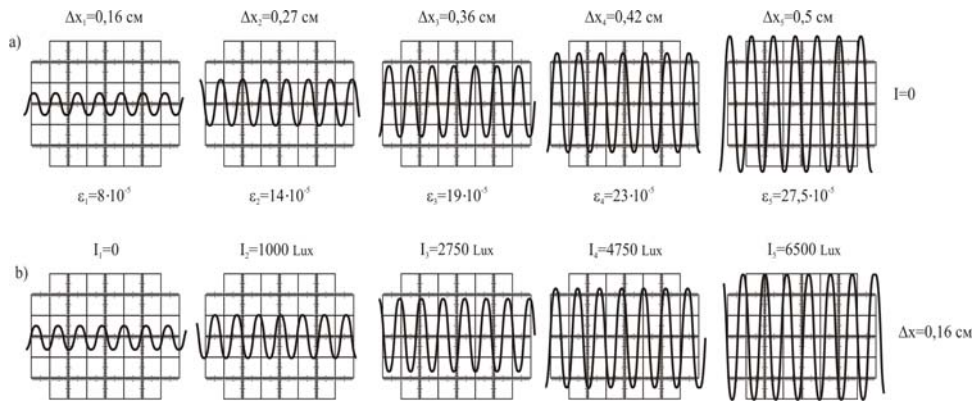


Рис. 3. Модуляция пьезопроводимости кристаллов $TlInSe_2$ в зависимости от степени деформации (а) и подсветки (б) (шкала по вертикали $0.5 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1} / \text{дел} (1 \text{ в} / \text{дел})$, по горизонтали 1 мсек/дел).

Таким образом, измеряя амплитудные значения при одной и той же степени деформации в темноте и при различной освещенности, можно проследить за изменением величины пьезофотопроводимости с ростом интенсивности подсветки. С этой целью произведены записи (рис. 3 б) при постоянной амплитуде $\varepsilon_{01} = 6 \cdot 10^{-5}$ синусоидальной деформации частотой 80 Гц и при различной освещенности (0÷6000 Люкс). Осциллограммы засняты (рис. 3) при значениях параметров схемы $R_n = 10^2 \text{ Ом}$ и $V = 180 \text{ В}$ для монокристалла $TlInTe_2$ с начальным сопротивлением в темноте $R_k = 5 \cdot 10^6 \text{ Ом}$. Нами полученные результаты свидетельствуют о линейной зависимости амплитуды пьезопроводимости от интенсивности подсветки и величина пьезосигнала управляется с изменением интенсивности подсветки и величиной механической деформации.

Нами, на основе выявленного эффекта пьезомодуляции проводимости в кри-

статке $TlInTe_2$, разработан полупроводниковый вибродатчик для регистрации амплитудно-частотных характеристик механически колеблющихся систем.

Известно, что вибрация – вечная проблема при создании элементов и узлов конструкций в современном машиностроении, судостроении и в других важных областях. Поэтому крайне необходимо определить и учитывать собственные частоты отдельных колеблющихся деталей и системы в целом, чтобы исключить опасные взаимные резонансные возбуждения и в условиях движения. В связи с тем, что теоретические расчеты колебательных характеристик сложных систем – трудоемки, грубы и ненадежны, поэтому при изготовлении отдельных узлов, их сборке, испытательных стендах и полетах испытывается большие нужды в надежных чувствительных микродатчиках для регистрации колебательных характеристик механических систем.

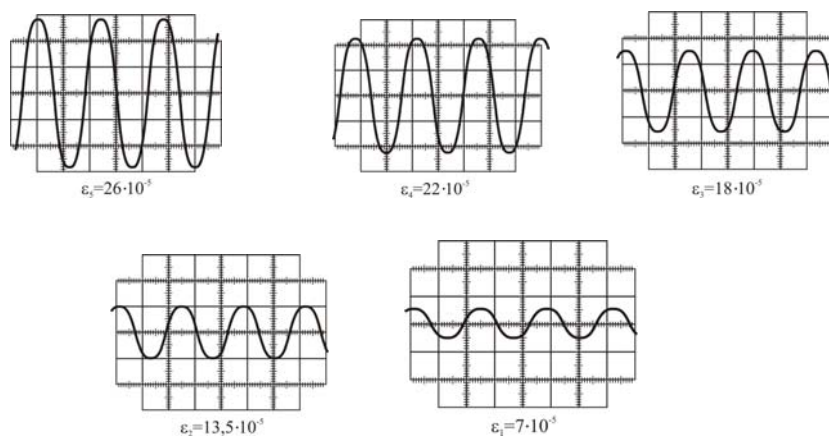


Рис. 4. Осциллограммы кривых резонанса $TlInTe_2$ при различных амплитудах резонатора.

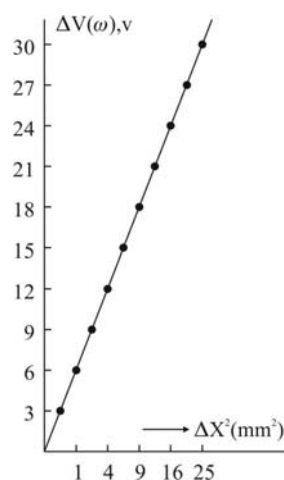


Рис. 5. Зависимость уровня сигнала от амплитуды механических колебаний при $f=85$ Гц в темноте (цена 1 дел = 0,95 в).

Ранее были использованы кристаллы $TlInSe_2$ в качестве подобных датчиков. В настоящей работе нами разработан вибродатчик на основе кристалла $TlInTe_2$.

На рис.(5) представлены зависимость уровня сигнала амплитуды механических колебаний осциллограммы при различных амплитудах резонатора (рис.4 а), а также осциллограммы установления и затухания колебаний при собственной и низкой частотах. Кривые резонанса приведены на рис.6

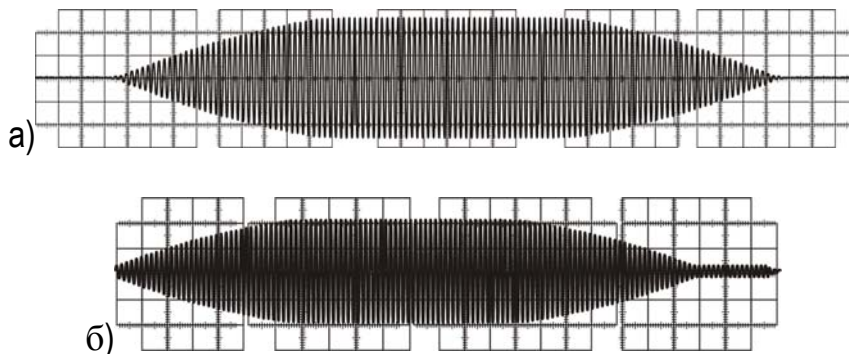


Рис. 6. Установление и затухание колебательных процессов при резонансной частоте ($\nu=20.2$ гц); а=50 мсек/см, б=200 мсек/см.

Эти результаты свидетельствуют о том, что кристаллы $TlInTe_2$ могут найти широкое применение как миниатюрные вибродатчики различного назначения. Эти вибродатчики отличаются следующими уникальными особенностями:

- высокой чувствительностью к регистрации малых уровней вибрации (порядка $0,05\mu$), например, малые вибросмещения в точках могут быть зарегистрированы виброщупами с чувствительным упругим элементом из данных «волосков» - кристаллов $TlInTe_2$ по схеме представленного на рис.1,(рис.7 а)

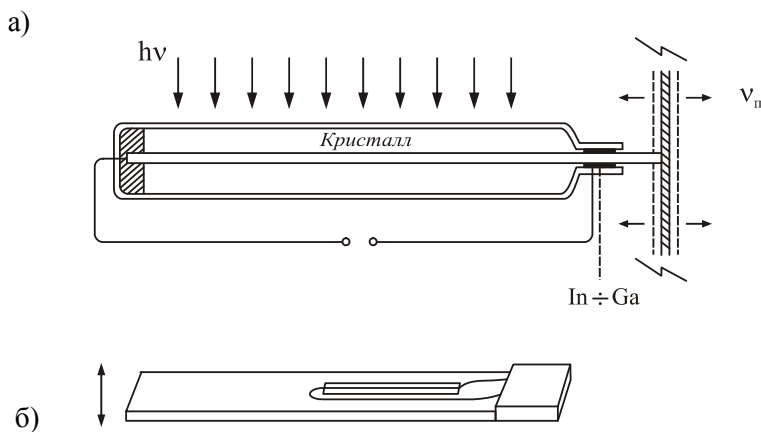


Рис. 7. Конструкция виброщупов (а) и вибродатчиков (б).

а больше вибросмещения – вибродатчиками с наклеенными тензодатчиками (рис.7 б);

- другой важной особенностью вибродатчиков из $TlInTe_2$ является независимость уровня сигнала от частоты в широком диапазоне частот $0 \leq \nu \leq 70kHz$;
- одним из основных достоинств вибродатчиков из $TlInTe_2$ заключается в их малогабаритности, незначительном весе и мерительном давлении, обеспечивающим регистрацию исследуемых вибраций без искажения;
- наличие переменных магнитных полей в условиях их эксплуатации не является помехой для регистрации исследуемых вибраций;
- вибродатчики (виброщупы) из кристаллов $TlInTe_2$ выгодно отличаются простотой конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.Л. Вибродиагностика упругих тел на основе исследования их собственных норм колебаний. Диагностика, 2007, №1(103), с. 60-64.
2. Дадашов М.Т. Методики измерения тензометрических свойств твердых тел. Elmi əsərləri – fundamental elmlər (AzTU), Bakı, 2005, №1, с. 4(13), s. 170-175.
3. Orudzhev G., Mamedov N., Uchiki H., Yamamoto N., Iida S., Toyota H., Gojaev E.M., Hashimzade F. Band structure and optical functions of ternary chain $TlInSe_2$ // Journal of Physics and Chemistry of Solids, 2003, b.64, p.1703-1706.
4. Годжаев Э.М., Оруджев Г.С., Кафарова Д.М. Зонная структура и диэлектрическая проницаемость соединения $TlGaTe_2$ // ФТТ, 2004, т. 46, в.5, с. 811-813 (Physics of the solid state, 2004, v. 46, №5, p. 833-835).

$TlInTe_2$ KRİSTALLARININ KEÇİRİCİLİYİN PYEZOMODULYASIYA EFFEKTİ VƏ BU KRİSTALLARIN ƏSASINDA DƏYİŞƏN SİQNAL ÖTÜRÜCÜLƏRİ

E.M.QOCAYEV, M.T.DADAŞOV

XÜLASƏ

Təqdim olunan işdə $TlInTe_2$ - kristalında keçiriciliyin pyezomodulyasiyası effekti aşkar edilərək tədqiq edilmiş və bu effektə əsaslanaraq, çox kiçik vibrosiqnalları qeyd edə bilən, mövcud vibroötürücülərdən yüksək həssaslığa malik olmaları, ölçüsünün kiçik olması və vibrosiqnalının vibrosürüşmələrin tezliyindən asılı olmayan vibroötürücülər yaradılmışdır.

PYEZOMODULATION EFFECT OF THE CONDUCTIVITY OF $TlInTe_2$ CRYSTALS AND GAUGES OF VARIABLE SIGNALS ON THEIR BASIS

E.M.GOJAYEV, M.T.DADASHOV

SUMMARY

The article investigates the effect of piezo conductivity modulations of $TlInSe_2$. On the basis of the given effect the possibilities of the creation of small-sized, high-sensitive, universal semi-conductor vibro-gauges differing by hypersensibility to small displacements, small dimensions and independence of vibro-signal levels from frequency of vibro-displacement are presented.