

УДК 621.315.592.541.65

АКУСТОФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$

С.Х. АГАЕВА *

Исследован акустофотовольтаический эффект в монокристаллах $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ ($x=0.04$ и 0.06). Выявлено, что при одновременном действии электромагнитного излучения и звуковых волн на концах кристаллов $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ возникает электродвижущая сила, величина, полярность и область спектральной чувствительности которой управляется частотой звука.

Ключевые слова: монокристаллы $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$, акустофотовольтаический эффект, частота звука, электромагнитное излучение, звуковая волна.

Введение. При исследовании фотоэлектрических свойств тройных соединений типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ был экспериментально обнаружен новый, неизвестный ранее физический эффект, заключающийся в возникновении электродвижущей силы на концах ориентированного однородного непьезоэлектрического кристалла полупроводника под действием равномерного электромагнитного излучения, вследствие воздействия на него звуковых волн. Величина, полярность и область спектральной чувствительности звуковых волн четко управлялась частотой звука [1-6].

Проведенные исследования преследовали цель выявить характерно-отличительные особенности обнаруженного эффекта, объяснить его физическую природу на основе существующих научно-теоретических представлений и, наконец, выявить возможности создания на его основе принципиально новых типов преобразователей, в том числе многофункциональных приемников излучения.

Целью данной работы экспериментальное исследование акустофотовольтаического (АФВ) эффекта в монокристаллах типа $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$.

* Национальная академия авиации Азербайджана

Экспериментальные результаты и об- суждения. В проводимых исследованиях монокристаллические пластинки толщиной 0.5 и шириной 1.5 мм с двумя симметричными омическими электродами, отстоящими на расстоянии $d=8$ мм, через короткий жесткий акустический контакт, устанавливались на излучатель звуковых волн (рис. 1).

Исследование АФВ эффекта проводилось в монокристаллах $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ ($x=0.04$ и 0.06) в интервале энергии 0-3 эВ при частотах 10, 20, 30 кГц. Экспериментальные результаты, приведенные на рис.2 а) и б) показывают, что спектральные характеристики АФВ эффекта в исследованных монокристаллах идентичны. На АФВ спектрах образцов $TlIn_{0.96}Ce_{0.04}Se_2$ (а) и $TlIn_{0.94}Ce_{0.06}Se_2$ (б) наблюдаются два ярко выраженных максимума при энергиях 1.25, 2.33 и 1.2 и 2эВ соответственно и один глубокий минимум при энергии 1.55 эВ.

Для образца $TlIn_{0.96}Ce_{0.04}Se_2$ при частоте 10кГц наблюдается инверсия тока при энергии 1.3эВ, а при частотах 20 и 30 кГц инверсия тока наблюдалась при 1.4 и 1.47 эВ соответственно. Для образца $TlIn_{0.94}Ce_{0.06}Se_2$ во всех исследованных частотах так же наблюдается два максимума при энергиях 1.2 и 2 эВ и глубокий минимум при 1.51 эВ, инверсия тока для этого образца при энергиях 1.2 и 1.5 эВ наблюдались только при частотах 20 и 30 кГц.

Выявлено, что при облучении электромагнитным излучением в отсутствие воздействия звуковых волн в образцах отсутствовала электродвижущая сила (эдс) на электродах так же, как и в темноте при воздействии звука. Однако при одновременном воздействии света и звуковых волн на электродах появляется существенная эдс или же постоянный ток при их замыкании. Нами было обнаружено, что величина возникшей АФВ эдс зависит от интенсивности и спектрального состава света, а также от частоты и амплитуды звука, и может быть сведена к нулю абсолютным затемнением кристалла или же снятием акустических волн.

Наблюдаемая при этом фотоакустическая эдс, согласно результатам проводимых к настоящему времени исследований, проявляет и другие специфические особенности, отличающие ее от остальных известных фотовольтаических явлений. Например, при постоянном освещении “белым” светом с изменением частоты акустических волн в направлении ее увеличения имеет место периодическая инверсия знака суммарной АФВ эдс. Уникальной особенностью обладает спектральная зависимость данного эффекта: в отличие от широко известных фотовольтаических эффектов форма и характер спектральной зависимости тока короткого замыкания при этом управляются мощностью и частотой акустических волн, с изменением взаимной ориентации кристаллографических осей материала – полупроводника и действующих на него внешних волн, а также величиной ме-

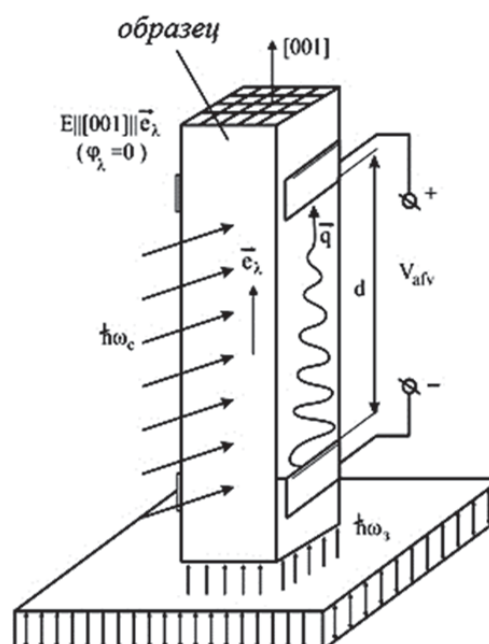


Рис 1. Схема экспериментальной установки для исследования акустофотовольтаического эффекта

жэлектродных расстояний. Вариацией вышеуказанных факторов можно придать спектральной зависимости одного и того же кристалла монополярный, биполярный, триполярный и, вообще, заданный избирательный характер. Ограничимся рассмотрением ниже наиболее характерного случая, распространения продольных акустических колебаний вдоль тетрагональной оси /001/ монокристаллов $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$.

Для различных образцов типа $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ при амплитуде напряжения питания излучателя 10 В и освещенности 1000 лкс величина возникающей фотопотovoltaической эдс варьировалась в пределах от 1 до 15 В. При более высоких интенсивностях видимого света ($I \geq 1000$ лкс) наблюдалось полное насыщение люкс-вольтажной характеристики выявленного эффекта с последующим его спадом и ростом интенсивности.

Частотная зависимость спектрального распределения тока короткого замыкания АФВ-эффекта при распространении продольных ($\vec{\omega} \perp \vec{q}$) акустических колебаний вдоль тетрагональной оси /001/ монокристалла $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ изучена в интервале частот $10 \div 30$ кГц (рис.2). Выявлено, что заметный АФВ-эффект имеет место, начиная от 10 кГц. Область спектральной чувствительности во всех рассмотренных частотах находилась в пределах fotocувствительности монокристаллов $TlInSe_2$. В диапазоне от 10кГц до 30кГц, за исключением горизонтальных площадок, тонкая структура спектра заметно не проявлялась.

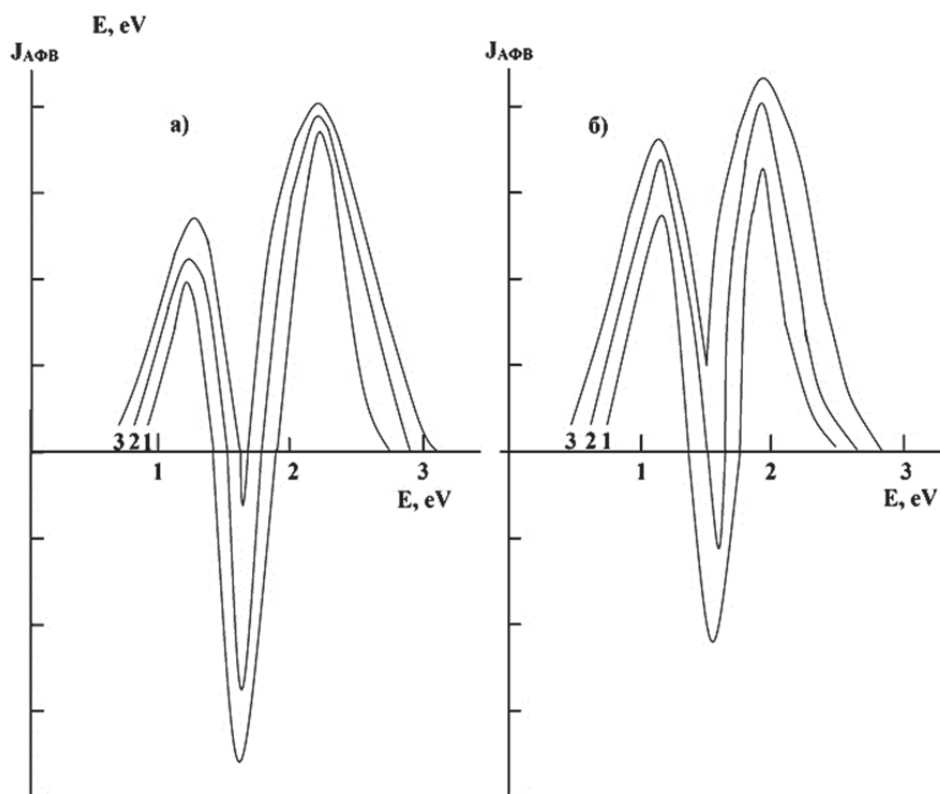


Рис.2. Результаты исследования АФВ эффекта в монокристаллах $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$
 а) $x=0.04$; б) $x=0.06$ при частотах звуковой волны 10(1), 20(2), 30(3), кГц.

Механизм ряда особенностей обнаруженного нами АФВ эффекта, по всей вероятности, связан с резонансным возбуждением укрупненных самостоятельных анионных радикалов в соответствующих кристаллах $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ электростатической индукцией или же неоднородной упругой деформацией. На той же частоте происходит, видимо, модуляция поверхностных состояний. Неудавшиеся за частотой модуляции неосновные носители, инжектируемые светом, накапливаются у соответствующей поверхности и приводят к возникновению АФВ эффекта. При справедливости подобного механизма, частотная зависимость эффекта должна быть весьма чувствительной к состоянию поверхности и имеющимся в кристалле центрам рекомбинации.

АФВ эффект можно рассматривать как изменение известного акустоэлектрического эффекта под воздействием света. Физическая сущность самого акустоэлектрического эффекта сводится к возникновению в полупроводниках эдс вследствие увлечения носителей тока в нем упругой волной [7-10].

Заключение. Обнаруженный АФВ эффект в монокристаллах $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ может найти широкое техническое применение в качестве принципиально новых типов управляемых селективных приемников излучения.

Напомним, что отмеченные выше инверсные точки на спектральной зависимости $\hbar\omega_c$ являются такими характерными точками, в которых полупроводник совершенно не реагирует на световые кванты заданной энергии и не воспринимает звук с данной частотой, т.е. кристалл в указанных точках не “видит” и не “слышит” - “слеп” и “глух”. В остальных участках спектра, особенно в максимуме фоточувствительности, кристаллы обладают высокой чувствительностью так же к восприятию звука. Поскольку обязательным условием генерирования эдс является одновременное воздействие на кристалл света и звука, то разработанные на этом принципе зрительные и слуховые аппараты должны обладать уникальными особенностями, а именно, “видеть” только при появлении звука и наоборот, “слышать” при наличии освещения (днем), и быть “глухими” в отсутствии света (ночью во время сна и т.д.).

Преобразователи, работающие на этом явлении, в принципе, могут стать модельным представлением логической взаимосвязи между зрением и слухом живого организма и откроют совершенно новые перспективы.

REFERENCES

1. **Gojaev E.M., Allahyarov E.A., Rustamov V.D., Nazarov A.M., Jafarova G.S.** Sintez-vyrashhivaniye monokristallov i issledovanie akustovoltaičeskogo effekta v $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ и $TlIn_{1-x}Pr_xTe_2$ // *Izv.RAN, Neorganicheskie materialy*, 2004, t.40, №9. С. 1054–1059.
Годжаев Э.М., Аллахаров Э.А., Рустамов В.Д., Назаров А.М., Джафарова Г.С. Синтез выращивание монокристаллов и исследование акустовольтаического эффекта в $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ и $TlIn_{1-x}Pr_xTe_2$ // *Изв.РАН, Неорганические материалы*, 2004, т.40, №9. С. 1054–1059.
2. **Gojaev E.M., Allahjarov E.A., Mamedov E.M., Halilova H.S.** Akustofotovoltaičeskij effekt v cepochechnyh kristallah tipa $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ / *Sbornik V Mejdunarodnoj konferencii “Amorfnye i mikrokristallicheskie poluprovodniki”*. Sankt-Peterburg, 19-21 ijunya 2006 goda, s.301-302.
Годжаев Э.М., Аллахаров Э.А., Мамедов Э.М., Халилова Х.С. Акустофотовольтаический эффект в цепочечных кристаллах типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ / *Сборник V Международной конференции “Аморфные и микрокристаллические полупроводники”*. Санкт-Петербург, 19-21 июня 2006 года, с.301-302.

3. **Gojaev E.M., Nazarov A.M., Allahjarov E.A. Gyulmamedov K.D., Halilova H.S. Mamedov E.M.** Akustofotovoltaicheskiy effekt v monokristallah $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ и $TlGaTe_2$. Neorganicheskie materialy, 2007, t. 43, №10, с.1184-1189.
Годжаев Э.М., Назаров А.М., Аллахьяров Э.А. Гюльмамедов К.Д., Халилова Х.С. Мамедов Э.М. Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ и $TlGaTe_2$ Неорганические материалы, 2007, т. 43, №10, с.1184-1189.
4. **Gojaev E.M., Pashaev A.M., Movsumov A.A., Halilova H.S., Agaeva S.H.** Akustofotovoltaicheskiy effekt v monokristallah $TlIn_0.Gd_0.0_2Se_2$. Neorganicheskie materialy. Moskva, 2010, t. 46, №1, s. 20-22.
Годжаев Э.М., Пашаев А.М., Мовсумов А.А, Халилова Х.С., Агаева С.Х. Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах $TlIn_0.Gd_0.0_2Se_2$ Неорганические материалы. Москва, 2010, т. 46, №1, с. 20-22.
5. **Gojaev E.M., Alieva P.F.** Akustofotovoltaicheskiy effekt v monokristallah $InGaTe_2$ и $InGaSe_2$ ISSN 0485-8972 // Radiotekhnika. 2014. Вып. 178, с.52-58.
Годжаев Э.М., Алиева П.Ф. “Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах $InGaTe_2$ и $InGaSe_2$ ISSN 0485-8972 // Радиотехника. 2014. Вып. 178, с.52-58.
6. **Gojaev E.M., Nazarov A.M., Khalilova H.S., Barkhalov B.Sh., Aliev L.P.** Acousticphotovoltaic effect in $TlIn_{1-x}Gd_xSe_2$ ($x=0;0.02$) single crystals Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, vol.XVI, Number 2, 2010
7. **Epshtejn E.M.** Fotostimulirovannye akustoelektricheskie efekty v perehodnyh poluprovodnikah. FTT, 1973, t.16, №10, s. 2345-2348.
Эпштейн Э.М. Фотостимулированные акустоэлектрические эффекты в переходных полупроводниках. ФТТ, 1973, т.16, №10, с. 2345-2348.
8. **Gripberg V.A., Kromer N.I.** Akustofotoelektricheskiy effekt pri ionizacii primesnyh centrov. FTP, 1973, t.7, №12, s. 2329-2333.
Грипберг В.А., Кромер Н.И. Акустофотоэлектрический эффект при ионизации примесных центров. ФТП, 1973, т.7, №12, с. 2329-2333.
9. **Grinberg A.A., Sadullaeva S.A.,** Akustofotoelektricheskiy effekt v poluprovodnikah s monopoljarnoy provodimostyu, FTP 1973, t.7, №12, 2316-2321.
Гринберг А.А., Садуллаева С.А., Акустофотоэлектрический эффект в полупроводниках с монополярной проводимостью, ФТП 1973, т.7, №12, 2316-2321.
10. **Ketis V.P., Sereika A.A.** Akustoelektricheskie efekty v neodnorodnyh poluprovodnikah / Litovskoe fizicheskoe obshhestvo, 1974, t.19, №2, s. 259-267.
Кетис В.П., Серейка А.А. Акустоэлектрические эффекты в неоднородных полупроводниках / Литовское физическое общество, 1974, т.19, №2, с. 259-267.

$TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ MONOKRISTALLARINDA AKUSTOFOTOVOLTAİK EFFEKT

S.X. AĞAYEVA

$TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ ($x=0.04$ и 0.06) monokristallarında akustofotovoltaik effekt tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, elektromaqnit şüalanmanın və səs dalğalarının birlikdə təsiri nəticəsində $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ monokristallarının uclarında qiyməti, polyarlığı və spektral həssaslıq oblastı səsin tezliyi ilə idarə oluna bilən elektrik hərəkət qüvvəsi yaranır.

Açar sözlər: $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ monokristalları, akustofotovoltaik effekt, səsin tezliyi, elektromaqnit şüalanma, səs dalğaları.

ACOUSTOPHOTOVOLTAIC EFFECT IN $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ MONO - CRYSTALS

S.Kh. AGHAYEVA

The acoustophotovoltaic effect in $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ ($x=0.04$ and 0.06) single crystals was investigated. A combined action of light and acoustic waves was shown to produce an electromotive force across the $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ crystals. The magnitude, polarity and spectral range of this effect depend on the sound frequency.

Keywords: $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ single crystals, acoustophotovoltaic effect, sound frequency, electromotive force, acoustic waves.