

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ $TlInS_2$ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ

Р.С.МАДАТОВ, А.И.НАДЖАФОВ, В.С.МАМЕДОВ, М.А.МАМЕДОВ

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана*

*AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33а*

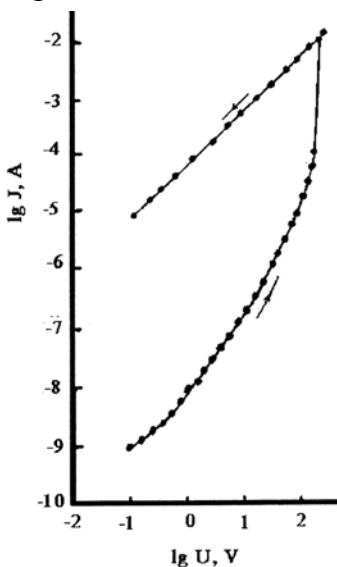
В работе исследовались электрические свойства соединения  $TlInS_2$  с гексагональной модификацией. Удельная проводимость образца при комнатной температуре равна  $\sigma=5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . По ВАХ образца определена концентрация равновесных электронов ( $n_0=1.24 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ ), подвижность носителей тока ( $\mu=2.1 \text{ м}^2 \text{ В}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ ) и концентрация ловушек  $N_t=7.7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ . Установлено, что механизм токопрохождения в гексагональной модификации соединения  $TlInS_2$  обусловлен током, ограниченным пространственным зарядом, и в этих материалах имеет место сильная компенсация.

В последние годы возрос интерес к соединению  $TlInS_2$ . Это соединение является перспективным материалом для создания электронных переключателей, приемников различных излучений и т.д. Физические свойства соединения  $TlInS_2$  изучены очень мало. В литературе отсутствуют данные об инжекционных токах в гексагональной модификации соединения  $TlInS_2$ . Исследование вольтамперных характеристик (ВАХ) полупроводников в области слабых и сильных электрических полях позволяет выяснить многие особенности механизма переноса заряда в этом материале.

В данной работе исследовались электрические свойства гексагональной модификации соединения  $TlInS_2$ . Параметры элементарной ячейки полученных кристаллов имеют следующие значения:  $a=3.82 \text{ \AA}$ ,  $c=14.85 \text{ \AA}$  [1]. Образцы имеют n-

тип проводимости. Ширина запрещенной зоны равна  $E_g=1 \text{ эВ}$ . В качестве контактов использовалась серебряная паста. Расстояние между электродами  $L=2 \text{ мм}$ . Направление тока перпендикулярно оси С. Удельная электропроводность образца при комнатной температуре  $\sigma=5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  (на омическом участке).

На Рис.1 представлена ВАХ образца при комнатной температуре. Как видно из Рис.1, в ВАХ наблюдается омический участок, «ловушечный» квадратичный участок, область резкого роста ( $j=U^m$ , где  $m>2$ ) и «безловушечная» квадратичная область.



**Рис.1.**

ВАХ образца  $TlInS_2$  с гексагональной модификации при комнатной температуре.

Как известно, такая ВАХ характерна для токов, ограниченных объемными зарядами [2]. В этом случае омический участок выражается формулой

$$j = en_0 \mu \frac{U}{L}, \quad (1)$$

а «ловушечный» квадратичный участок формулой

$$j = e \theta \varepsilon \varepsilon_0 \mu \frac{U^2}{L^3}, \quad (2)$$

где  $j$  – плотность тока,  $e$  – элементарный электрический заряд,  $n_0$  – равновесная бестоковая концентрация электронов,  $\mu$  – подвижность носителей тока,  $U$  –

напряжение,  $L$  – расстояние между электродами,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $\theta$  – степень заполнения ловушек. Напряжение, при котором происходит переход от омического участка к «ловушечному» квадратичному участку, определяется выражением

$$U_1 = \frac{L^2 en_0}{\theta \epsilon \epsilon_0}, \quad (3)$$

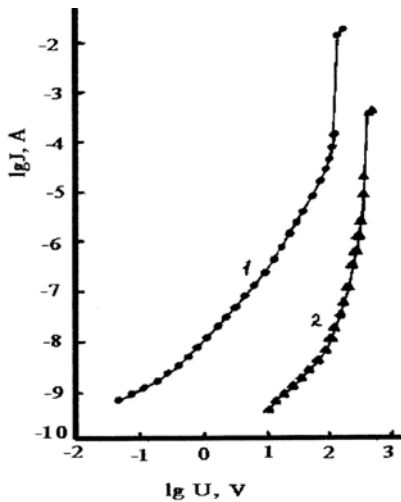
степень заполнения ловушек  $\theta$  определяется из участка резкого роста, как отношение плотности тока в начале подъема  $j_1$  к плотности тока в конце подъема  $j_2$

$$\theta = \frac{j_1}{j_2}. \quad (4)$$

Используя соответствующие уравнения, по ВАХ определена концентрация равновесных электронов ( $n_0$ ), подвижность носителей тока ( $\mu$ ), концентрация ловушек ( $N_t$ ). При комнатной температуре были получены следующие значения:  $n_0=1.24 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu=2.1 \text{ м}^2 \text{ В}^{-1} \text{ сек}^{-1}$  (для омического участка),  $N_t=7.7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

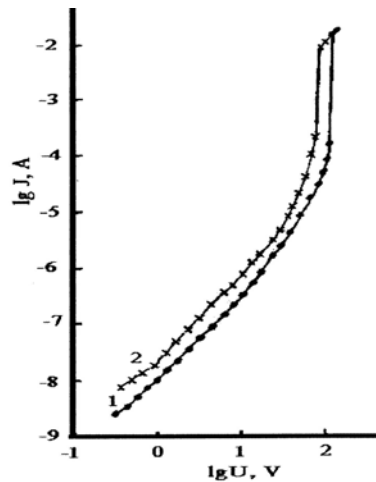
После участка резкого роста в ВАХ наблюдается «безловушечный» квадратичный участок. При уменьшении напряжения, начиная от «безловушечного» квадратичного участка до напряжения  $U_{\text{пзл}}$ , при котором наблюдается почти вертикальный резкий рост, уменьшение силы тока происходит по линии «безловушечного» квадратичного участка. При напряжении меньше  $U_{\text{пзл}}$  сила тока уменьшается линейно. Как видно из ВАХ, эта линия проходит выше первичного линейного участка ( $\frac{J_{\text{втор}}}{J_{\text{перв}}} \approx 10^4$ ). Это явление может объясняться

заполнением ловушек [4]. Для того чтобы электропроводность образца стала равной исходному значению, потребовалось более 2-х суток при комнатной температуре. За это время происходит опустошение ловушек.



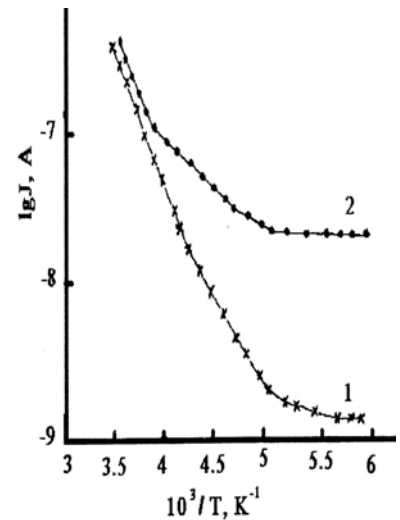
**Рис.2.**

ВАХ образца TlInS<sub>2</sub> гексагональной модификации при различных температурах: 1 – 300К, 2 – 161К.



**Рис.3.**

ВАХ образца TlInS<sub>2</sub> гексагональной модификации при комнатной температуре: 1 – в темноте, 2 – под действием света.



**Рис.4.**

Температурная зависимость силы тока TlInS<sub>2</sub> гексагональной модификации при постоянном напряжении: 1–в темноте, 2–под действием света.

На Рис.2 показаны ВАХ образца при различных температурах. При температуре 161К получены следующие значения:  $n_0=3.7 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu=0.035 \text{ м}^2 \text{ В}^{-1} \text{ сек}^{-1}$

(в омическом участке) и  $N_t=2.4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . Как видно из Рис.2, значение напряжения  $U_1$ , при котором происходит переход от омического участка к «ловушечному» квадратичному участку зависит от температуры. При уменьшении температуры значение этого переходного напряжения ( $U_1$ ) смещается в сторону высоких напряжений. Как известно, если значение переходного напряжения  $U_1$  зависит от температуры, то в этих кристаллах имеет место сильная компенсация [3]. Это означает, что гексагональная модификация соединения  $\text{TlInS}_2$  является сильно компенсированным полупроводником.

На Рис.3 показана ВАХ образца в темноте (кривая 1) и под действием света обычной электрической лампы (кривая 2). Как видно, при освещении образца часть ловушек заполняется и ток увеличивается.

На Рис.4 показана температурная зависимость силы тока  $[\lg I(10^3/T)]$  при постоянном напряжении  $U=10\text{В}$ , соответствующему омическому участку. Кривая 1 была снята в темноте, а кривая 2 под действием света обычной электрической лампы. По этим графикам определены значение энергии активации: в темноте  $\Delta E_1 = 0.25\text{эВ}$ ,  $\Delta E_2 = 0.38\text{эВ}$  и при освещении  $\Delta E_1 = 0.13\text{эВ}$ ,  $\Delta E_2 = 0.38\text{эВ}$ . Как видно, при низких температурах  $T < 250\text{К}$  образец более чувствителен к свету. При температурах  $T > 250\text{К}$  чувствительность образца к свету уменьшается.

Анализируя результаты исследований, можно заключить, что механизм токопрохождения гексагональной модификации соединения  $\text{TlInS}_2$  обусловлен током, ограниченным пространственным зарядом. Установлено, что в этих образцах имеет место сильная компенсация.

1. С.Н.Алиев, А.Н.Наджафов, О.З.Алекперов, *ФТП*, **27** (1991) 621.
2. М.Ламперт, П.Марк, Инжекционные токи в твердых телах, Мир, М., (1973).
3. А.В.Маловичко, В.Г.Чалая, Е.Т.Шульга, *УФЖ*, **20** (1975) 209.
4. А.П.Галушка и др., *Сб. Радиационные дефекты в полупроводниках, Минск*, (1972) 26.

## **$\text{TlInS}_2$ BİRLƏŞMƏSİNİN HEKSAQONAL MODİFİKASİYASININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ**

**R.S.MƏDƏTOV, A.İ.NƏCƏFOV, V.S.MAMEDOV, M.Ə.MƏMMƏDOV**

Bu işdə  $\text{TlInS}_2$  birləşməsinin heksaqonal modifikasiyasının elektrik xassələri öyrənilmişdir. Otaq temperaturunda nümunənin xüsusi keçiriciliyi  $\sigma=5 \cdot 10^{-7} \text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$  olmuşdur. Nümunənin VAX-dan tarazlıq elektronlarının konsentrasiyası ( $n_0=1,24 \cdot 10^8 \text{sm}^{-3}$ ), cərəyan daşıyıcılarının yüürlüklüyü ( $\mu=2,1 \text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{san}^{-1}$ ), tələlərin konsentrasiyası ( $N_t=7,7 \cdot 10^{11} \text{sm}^{-3}$ ), təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{TlInS}_2$  birləşməsinin heksaqonal modifikasiyasında elektrik cərəyanı həcmi yüklərlə məhdudlaşan cərəyan hesabına olur və bu nümunələrdə güclü kompensasiya mövcuddur.

## **ELECTRIC PROPERTIES OF COMPOUND of $\text{TlInS}_2$ WITH HEXAGONAL MODIFICATION**

**R.S.MADATOV, A.I.NAJAFOV, V.S.MAMEDOV, M.A.MAMEDOV**

The electric properties of compound of  $\text{TlInS}_2$  with hexagonal modification have been investigated. Electric conductivity of sample at room temperature was equal to  $\sigma=5 \cdot 10^{-7} \text{Ohm} \cdot \text{sm}^{-1}$ . Concentration of equilibrium electrons ( $n_0=1.24 \cdot 10^8 \text{sm}^{-3}$ ), current carrier mobility ( $\mu=2.1 \text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) and concentration of traps ( $N_t=7.7 \cdot 10^{11} \text{sm}^{-3}$ ) have been determined on VAC of sample. It was established that a mechanism of passing of current in hexagonal modification of compound of  $\text{TlInS}_2$  was caused by current limited by space charge and in these materials the strong compensation takes place.

Редактор: М.Алиев