

ОСЦИЛЛЯЦИИ ШУБНИКОВА-ДЕ ГАЗА В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Pb_{0,82}Sn_{0,18}Te$

Меглей Д., Алексеева С.

Институт Электронной Инженерии и Нанотехнологий имени Д. Гицу
Академии наук Молдовы
meglei@nano.asm.md

Abstract. *Single crystals of lead-tin telluride have been prepared by gas-phase synthesis. Shubnikov-de Haas effects in magnetic fields up to 12 T at low temperatures of 2.1 and 4.2 K have been studied. The parameters of the charge carrier energy spectrum have been determined. It has been found that an increase in the charge carrier concentration leads to an increase in the cyclotron effective mass, Fermi surface cross section, and relaxation time.*

Ключевые слова: *Магнитосопротивление, циклотронная масса, сечение поверхности Ферми*

I. Введение

Большой интерес к изучению свойств узкозонных полупроводников и, особенно к монокристаллам теллурид свинца-теллурид олова объясняется как широкими возможностями их практического использования в качестве детекторов и источников излучения в инфракрасной области спектра, термоэлементов, тензодатчиков и т.д. Научный же интерес к этим материалам связан, прежде всего, с их необычными гальвано-магнитными, термо-магнитными и магнито-оптическими свойствами / 1/.

Эффект Шубникова-де Гааза (ШдГ) является универсальным и мощным инструментом для исследования энергетического спектра вырожденных электронных систем в металлах, полуметаллах, сплавах и легированных полупроводниках. Особенно подходящими объектами для его наблюдения оказались полупроводники группы $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{IV}$, а также полупроводники с узкой запрещенной зоной.

Высокая информативность о параметрах электронной системы объясняет широкое использование эффекта ШдГ /2/.

II. Технология получения монокристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe$

Для получения достоверных экспериментальных результатов, требования к качеству исследуемых образцов очень высокие: распределение компонент по объему должно быть равномерным, а механические дефекты минимальны. Наиболее эффективным методом получения однородных монокристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ является метод роста из газовой фазы. Для роста монокристаллов из газовой фазы нами была разработана специальная технология, а в качестве исходных материалов использовались высокочистые Pb, Sn, Te марки ОСЧ-0000 (Te очищался многократной зонной перекристаллизацией). Микроструктурные, спектральные исследования, а также измерения эффекта Холла подтвердили высокое качество полученных монокристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ($x=0,18$).

III. Определение параметров кристаллов из экспериментальных данных по эффекту ШдГ.

В квантующем магнитном поле, с учетом спинового расщепления уровней для Кейновского закона дисперсии спектр носителей заряда (при $H \parallel z$) имеет вид [3]:

$$e\left(1 + \frac{e}{E_g}\right) = \left(n + \frac{1}{2}\right) * \hbar\omega_c + \frac{P_z}{2m_c} + gbH/2, \quad (1)$$

где $n=0,1,2 \dots$ - номер уровня Ландау, E_g - ширина запрещенной зоны, $b = \frac{e\hbar}{2m_0}$, P_z - проекция вектора квазиимпульса на направление магнитного поля H , e - энергия носителя заряда. Данный закон дисперсии справедлив в случае $m_c \gg m_0$, что справедливо в рассматриваемом случае.

В экспериментальном плане исследование осцилляций магнитосопротивления позволяет определить ряд параметров энергетического спектра носителей заряда. Квантовые уровни определялись из соотношения:

$$n = k \frac{H_{n+k}}{H_n - H_{n+k}}, \quad (2)$$

где H_i - величина магнитного поля в i максимуме магнитосопротивления. Период

осцилляций рассчитывался по формуле: $\frac{1}{H_{n+1}} - \frac{1}{H_n} = \Delta \frac{1}{H}$. По экспериментальной зависимости $n(1/H)$ рассчитывался наклон и определялась частота осцилляций ШдГ:

$$F = \frac{\Delta n}{\Delta \frac{1}{H}}.$$

В кейновском приближении частота осцилляций магнитосопротивления равна :

$$F_i = F \frac{1 + 2 \frac{e_F}{E_g}}{1 + \frac{e_F}{E_g}}, \quad (3)$$

где F – частота осцилляций в случае параболического закона дисперсии. Период осцилляции определяется площадью экстремальных сечений Ферми поверхности:

$$S_{\text{экт.}} = \frac{2pe}{\hbar} \frac{1}{\Delta \frac{1}{H}} = \frac{2pe}{\hbar} F. \quad (4)$$

Из температурной зависимости амплитуд Шубниковских осцилляций в соответствии с формулой

$$m_c = \frac{e\hbar H}{2p^2 k T c} * \text{Arch} \left[\frac{B(T_1, H_n)}{B(T_2, H_n)} \right], \quad (5)$$

где $B(T, H)$ – амплитуда осцилляций при температуре T и в поле H определялись циклотронные массы, а энергия Ферми может быть рассчитана из соотношения:

$e_F = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{e\hbar H_n}{m_c}$. Для случая анизотропной поверхности Ферми концентрация носителей заряда может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\frac{p}{M} = \frac{1}{3p^2} \left(\frac{2e}{h} \frac{1}{\Delta} \frac{1}{H} \right)^{3/2} \frac{[k \cos^2 \Theta + \sin^2 \Theta]^{3/4}}{k^{1/4}} \quad (6)$$

где M - число эквивалентных экстремумов в зоне Бриллюэна, p – концентрация носителей заряда, $k = \frac{m_{\parallel}}{m_{\perp}}$, а Θ - угол между большой осью эллипсоида и направлением магнитного поля.

Дингл показал, что уширение уровней Ландау вследствие рассеяния электронов эквивалентно возрастанию температуры на величину $T_D = \frac{h}{pk_0 \tau}$, где τ - время релаксации.

Температура Дингла, которая характеризует размытие уровней Ландау и определяет амплитуду квантовых осцилляций, может быть рассчитана по формуле:

$$T_D = \frac{eh}{2p^2 k_0 m_c} \operatorname{tg} \alpha \quad (7)$$

где α - угол наклона зависимости амплитуды осцилляций ШдГ от обратного магнитного поля.

С ростом магнитного поля на осциллирующей кривой сопротивления возникают дополнительные максимумы, связанные со спиновым расщеплением уровней Ландау, что позволяет рассчитать g -фактора:

$$g = \frac{\frac{1}{H_k} - \frac{1}{H_{k+1}}}{\frac{1}{H_k^s} - \frac{1}{H_{k+1}^s}} = \frac{\Delta \frac{1}{H}}{\Delta \frac{1}{H^s}} \quad (8)$$

IV. Эффект Шубникова-де Газа на монокристаллах $\text{Pb}_{0,82}\text{Sn}_{0,18}\text{Te}$.

На рис.1 приведена полевая зависимость поперечного магнетосопротивления $\text{Pb}_{0,82}\text{Sn}_{0,18}\text{Te}$ в магнитных полях до 12Т при температуре 2,1К.

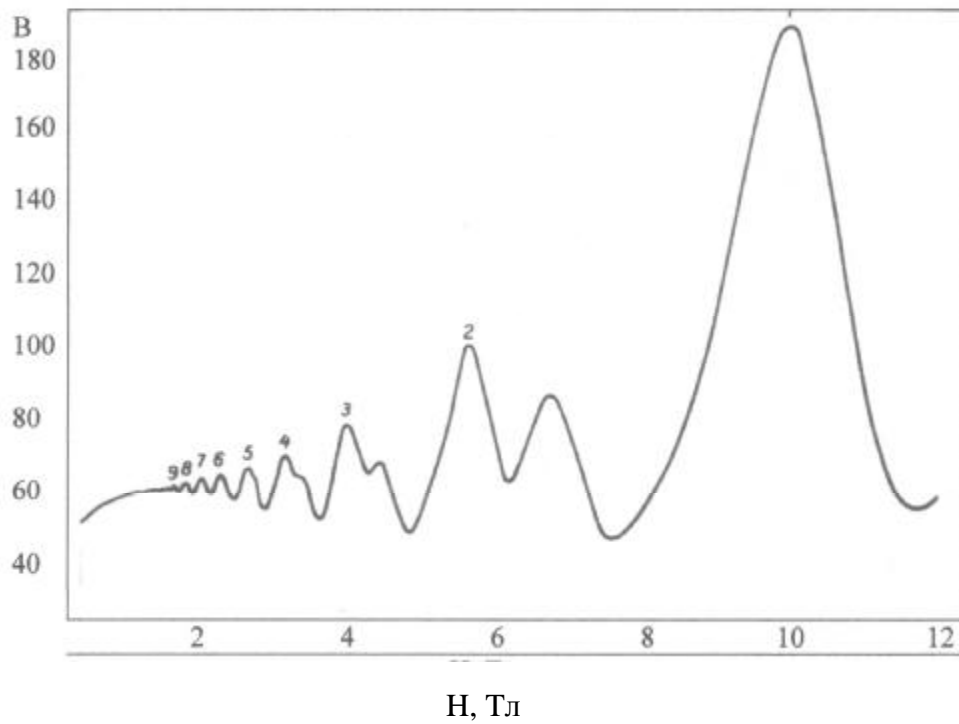


Рис.1. Полевая зависимость поперечного магнетосопротивления $Pb_{0,82}Sn_{0,18}Te$ в магнитных полях до 12Т при температуре 2,1К.

Наблюдавшиеся осцилляции ШдГ периодичны в обратном магнитном поле $1/H$. (рис.2)

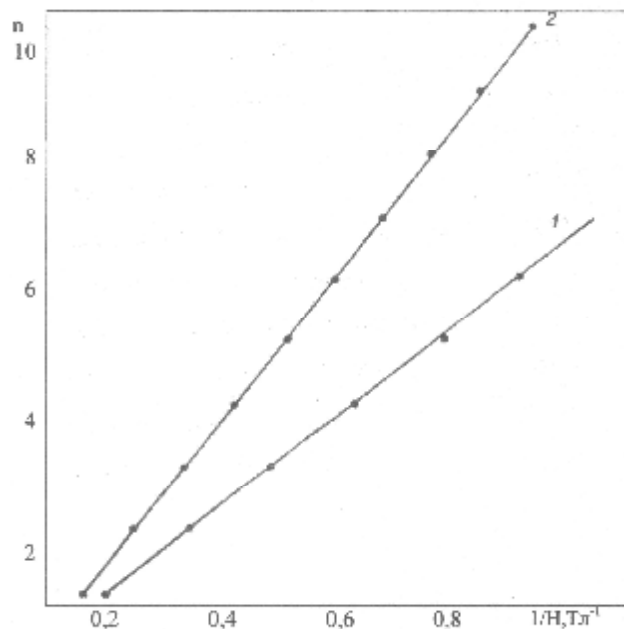


Рис.2. Зависимость квантового номера осцилляций ШдГ от обратного магнитного поля $1/H$.

Таблица

Параметры, рассчитанные из полевой зависимости поперечного магнетосопротивления двух образцов $Pb_{0,82}Sn_{0,18}Te$ в магнитных полях до 12Т при двух температур 4,2 и 2,1К.

Образец	$p, 10^{17} \text{см}^{-3}$	$\frac{m_c}{m_0}$	$S, 10^{-13} \text{см}^{-2}$	T_D, K		g		$\epsilon_F, \text{эВ}$	$\tau, 10^{-12} \text{сек}$		$F, 10^{-5} \text{Гс}$
				4,2К	2,1К	4,2К	2,1К		4,2К	2,1К	
1	9,6	0,07	1,12	6,4	6,0		9,1	0,057	0,38	0,405	1,17
2	4,8	0,031	0,29	11,4	10,1	5,5	12,2	0,03	0,21	0,24	0,304

Из полученных данных видно, что с ростом концентрации носителей заряда растет как величина циклотронных эффективных масс, сечение поверхности Ферми, так и время релаксации.

V. Заключение

Из газовой фазы синтезированы монокристаллы теллурид свинца-теллурид олова. Исследованы эффекты Шубникова-де Гааза в магнитных полях до 12Т при низких температурах 2,1 и 4.2 К. Определены параметры характеристики энергетического спектра носителей тока. Полученные данные показали, что с ростом концентрации носителей заряда растет величина циклотронных эффективных масс, сечение поверхности Ферми и время релаксации.

VI. Библиография

1. Волков Б.А., Рябова Л.И., Хохлов Д.Р. Примеси с переменной валентностью в твердых растворах на основе теллурида свинца//УФН. 2002. Т. 172. № 8. С. 875-906.
2. Брандт Н Б, Чуудинов С М "Эффект Шубникова-де Гааза и его применение для исследования энергетического спектра металлов, полуметаллов и полупроводников" *УФН* **137** 479–499 (1982)
3. Kubo R., Haseyawa H., Hashitsume N. A Quantum Theory of Galvanomagnetic Effect, J. Phys. Soc. Jpn. 14 (1969) pp. 56-74