

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО И γ - ОБЛУЧЕНИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ГАЛЬВАНО- И ТЕРМОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА В $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ)

Э.И. ЗУЛЬФИГАРОВ

Сектор радиационных исследований АН Азербайджана,
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 31^а

Исследовано влияния электронного и γ -облучения на проводимость σ , коэффициент Холла R_H , термоэлектрический α и термомагнитный коэффициент Нернст-Эттингсгаузена E_N в различных T и H для кристаллов КРТ с $x=0,12$ и $0,15$. Показано, что облучения электронами с энергией 4 МэВ и γ -лучами с энергией 1,25 МэВ от ^{60}Co идентично влияют на электрофизические свойства КРТ. Отличие сводится лишь к степени действия. Облучения приводят к возрастанию концентрации электронов проводимости, источниками которых являются РД донорного типа.

В настоящее время имеется богатый экспериментальный материал по исследованию действия различных видов излучения на свойства кристаллов КРТ [1,2,3,4]. Характер взаимодействия определяется родом частицы, ее энергией и условиями, в которых происходит излучение.

Изучение различных радиационных повреждений и их зависимостей от вида облучения, температуры и т.д. важ-

но как для практических целей, связанных с работой различных приборов и других устройств в условиях облучения, так и для изучения многих вопросов физики полупроводников. В этом смысле изучение кристаллов гальвано- и термомагнитных свойств кристаллов КРТ в различных экстремальных условиях, в частности, при радиационном облучении представляется актуальным.

Эксперимент.

Монокристаллические образцы КРТ, полученные промышленным путем обладали р-типом проводимости с

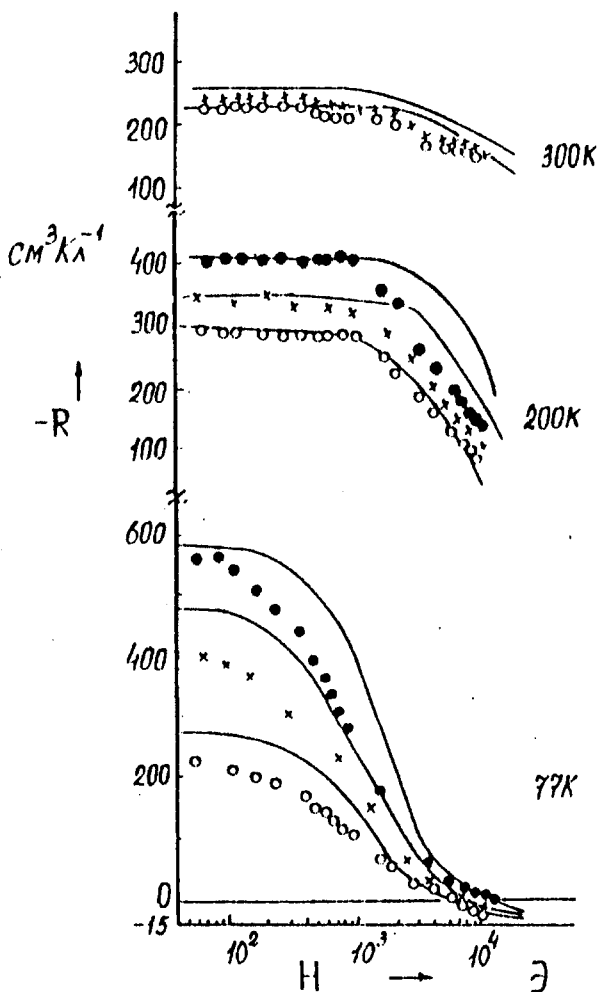


Рис. 1. Полевые зависимости коэффициента Холла для образца $\text{Cd}_{0,12}\text{Hg}_{0,88}\text{Te}$ до и после электронного и γ -облучения.

○ - $\Phi=0$; ● - $\Phi=5,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$; × - $D=10^{10}$ рад.

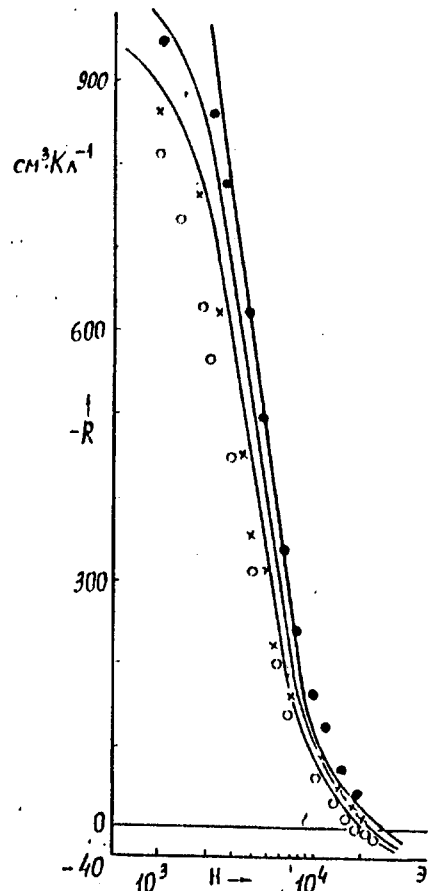


Рис. 2. Полевые зависимости коэффициента Холла для образца $\text{Cd}_{0,15}\text{Hg}_{0,85}\text{Te}$ до и после электронного и γ -облучения.

○ - $\Phi=0$; ● - $\Phi=7,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$; × - $D=10^{10}$ рад.

концентрацией $P=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $P=7,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, соответственно для $x=0,15$ и $x=0,12$. Однако, ввиду перекрытия зон в исследованном интервале T ($4,2 \div 300 \text{ K}$), осуществлялись смешанные проводимости.

Облучение электронами и γ -квантами проводилось при комнатной температуре. Доза облучения достигала $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ и 10^{10} рад. для электронов и γ -квантов соответственно. Измерения в слабых ($60 \div 1000 \text{ Э}$) и сильных (до 22 кЭ) магнитных полях проводились в соленоиде, типа Гельм-Гольца.

На рис.1,2 представлены зависимости коэффициента Холла от напряженности магнитного поля до и после облучения. Как видно, облучение приводит к некоторому возрастанию R во всем интервале H , независимо от вида облучения и температуры измерения. С понижением T влияние облучения растет, особенно это проявляется при слабых полях. При облучении точка инверсии H_0 - знака R смещается в сторону высоких полей.

На рис.3 представлены характерные температурные зависимости α_0 для образца с $x=0,15$. Как видно, при облучении точка инверсии знака термоэдс смещается в область низких T . В том же направлении смещается и положение максимума зависимости $\alpha_0(T)$. Видно, что ха-

рактеры действия электронного и γ -облучения идентичны, отличие сводится лишь к степени действия.

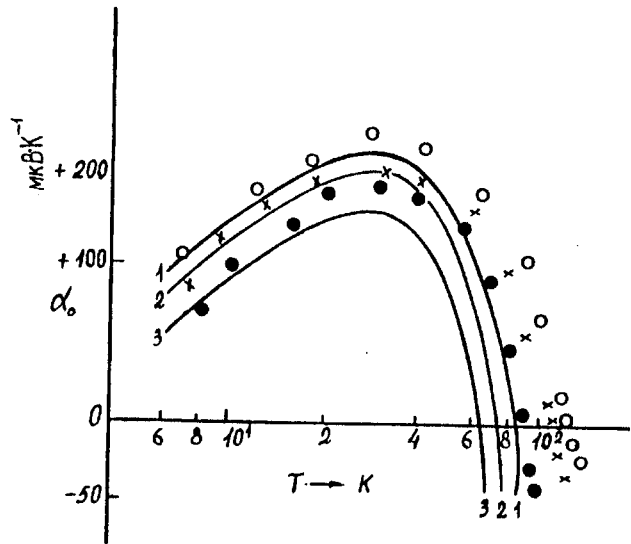


Рис. 3. Температурные зависимости термоэдс α_0 для образца $\text{Cd}_{0,15}\text{Hg}_{0,85}\text{Te}$ до и после электронного и γ -облучения.

о, 1 - $\Phi=0$; ●, 3 - $\Phi=7,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$; x, 2 - $D=10^{10}$ рад.

Таблица 1.

Параметры носителей заряда образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,12; 0,15$) до и после γ -облучения. σ_0 ($\text{Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$), R_x ($\text{см}^3 \text{ Кл}^{-1}$), $n \cdot 10^{-14}$ (см^{-3}), $\mu_n \cdot 10^{-4}$ ($\text{см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$), $p \cdot 10^{-17}$ (см^{-3}), μ_p ($\text{см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$).

| x | $T, \text{ K}$ | $D \cdot 10^{-10}$ рад | H_0 кЭ | σ_0 | R_x | n | μ_n | p | μ_p |
|------|----------------|---------------------------|-------------|------------|-------|------|---------|-----|---------|
| 0,12 | 77 | 0 | 5,5 | 20 | 11 | 0,74 | 9,2 | 5,7 | 210 |
| | | 1 | 6,5 | 14 | 12 | 0,78 | 8,0 | 5 | 185 |
| | 200 | 0 | 30 | 22,7 | 9 | 15,0 | 2,6 | 6,8 | 155 |
| | | 1 | 36 | 20 | 11,5 | 17 | 2,0 | 5,5 | 140 |
| | 300 | 0 | 72 | 26,4 | 8 | 57 | 1,3 | 7,5 | 122 |
| | | 1 | 78 | 28 | 8,5 | 60 | 1,3 | 7,0 | 121 |
| 0,15 | 4,2 | 0 | 11 | 4 | 40 | 0,4 | 5 | 1,6 | 160 |
| | | 1 | 11,5 | 4 | 38 | 0,35 | 4,5 | 1,8 | 140 |
| | 20 | 0 | 12,6 | 5 | 37 | 0,6 | 16 | 1,9 | 190 |
| | | 1 | 15,0 | 5,5 | 34 | 0,8 | 14 | 2,0 | 180 |
| | 77 | 0 | 19,5 | 16 | 32 | 6 | 12 | 1,5 | 240 |
| | | 1 | 24 | 20 | 32 | 9 | 10 | 2 | 220 |
| | 200 | 0 | 90 | 38 | 31 | 80 | 2,4 | 2,3 | 220 |
| | | 1 | 95 | 42 | 31 | 110 | 2 | 2,3 | 220 |
| | 300 | 0 | 115 | 50 | 30 | 400 | 0,7 | 2,2 | 200 |
| | | 1 | 120 | 55 | 30 | 600 | 0,5 | 2,2 | 180 |

Обсуждение результатов

Как было отмечено, изучению влияния электронного и γ -облучения на свойства КРТ посвящено много работ. Однако, результаты в них противоречивы. Одни авторы указывают на то, что РД, возникшие при облучении являются донорного типа [1,2], другие утверждают, что облучение создает РД акцепторного типа [3,4]. Нами предполагается, что такое утверждение следует из-за того, что результаты в этих работах интерпретированы качественно, эксперимент проведен в узком температурном интервале, а гальваномагнитные свойства изучены только при определенном значении H . В текущей литературе, влияние ионизирующего излучения на термоэлектрические и термомагнитные эффекты в КРТ вообще не

рассматривается. Таким образом, можно заключить, что каждая работа в отдельности, или же совокупность результатов нескольких работ не могли создать ясную картину, позволяющую определить тип и механизм образования радиационных дефектов при облучении.

Для устранения перечисленных пробелов и противоречий, нами было комплексно исследовано влияние электронного и γ -облучений на электрофизические свойства КРТ. Для достоверности полученных результатов были определены параметры носителей заряда по методике, изложенной в [5]. Результаты представлены в табл. 1,2. Как видно, после облучения концентрация электронов проводимости возрастает.

Таблица 2.

Параметры носителей заряда образцов Cd_xHg_{1-x}Te (x=0,12; 0,15) до и после электронного облучения. σ_0 (Ом⁻¹ см⁻¹), R_x (см³ Кл⁻¹), $n \cdot 10^{14}$ (см⁻³), $\mu_n \cdot 10^4$ (см² В⁻¹ с⁻¹), $p \cdot 10^{17}$ (см⁻³), μ_p (см² В⁻¹ с⁻¹).

| x | T, K | $\Phi \cdot 10^{-17}$ см ⁻² | N_0 кЭ | σ_0 | R_x | n | μ_n | p | μ_p |
|------|------|---|-------------|------------|-------|------|---------|------|---------|
| 0,12 | 77 | 0 | 5,5 | 20 | 11 | 0,74 | 9,2 | 5,7 | 210 |
| | | 5,6 | 7,2 | 15 | 13 | 0,81 | 9,1 | 4,8 | 180 |
| | | 14,6 | 10,5 | 12,3 | 14 | 1,2 | 6,8 | 4,5 | 155 |
| | 200 | 0 | 30 | 22,7 | 9 | 15,0 | 2,6 | 6,8 | 155 |
| | | 5,6 | 44 | 17,2 | 12 | 18 | 2,1 | 5,2 | 133 |
| | | 14,6 | 60 | 18,3 | 13 | 30 | 1,7 | 4,8 | 132 |
| | | 0 | 72 | 26,4 | 8 | 57,0 | 1,3 | 7,5 | 122 |
| | 300 | 5,6 | 80 | 27 | 9 | 62,0 | 1,4 | 7,1 | 120 |
| | | 14,6 | 93 | 33,5 | 10 | 93,0 | 1,4 | 6,4 | 130 |
| | | 0 | 11 | 2,5 | 40 | 0,23 | 4,6 | 1,60 | 170 |
| 0,15 | 4,2 | 7,2 | 12 | 3 | 35 | 0,26 | 4,0 | 1,90 | 150 |
| | | 0 | 12,6 | 5 | 37 | 0,5 | 10,5 | 1,8 | 190 |
| | 20 | 7,2 | 13,2 | 5,5 | 35 | 0,8 | 15 | 2 | 160 |
| | | 0 | 19,5 | 17 | 32 | 7 | 15 | 2 | 250 |
| | | 7,2 | 28 | 19 | 33 | 9,5 | 9 | 2,2 | 230 |
| | 77 | 0 | 19,5 | 17 | 32 | 7 | 15 | 2 | 250 |
| | | 7,2 | 28 | 19 | 33 | 9,5 | 9 | 2,2 | 230 |
| | | 0 | 90 | 37 | 31 | 100 | 1,9 | 2,3 | 124 |
| | 200 | 0 | 90 | 37 | 31 | 100 | 1,9 | 2,3 | 124 |
| | | 7,2 | 97 | 42 | 30 | 102 | 2,5 | 2,5 | 122 |

На первый взгляд парадоксальным является то, что под действием γ и электронного облучения, коэффициент Холла R , имеющий отрицательный знак, растет (см. рис. 1,2), а расчет показывает, что концентрация электронов возрастает. Дело в том, что часто на основании данных R_0 в слабых полях в смешанной или собственной области проводимости оценивают концентрацию высокоподвижных носителей заряда, приблизительно считая,

$$R_0 \cong \frac{A_r}{en} \quad (1)$$

A_r - учитывает механизм рассеяния на n .

Однако, как было показано в [5], в бесщелевых и узкозонных полупроводниках с высокой подвижности электронов и $p \gg n$, концентрацию электронов нельзя вычислять по формуле (1). Расчеты показывают, что несмотря на возрастание R с дозой облучения, значения N_0 , σ_0 и R_x таковы, что истинная концентрация электронов при облучении возрастает. Такая зависимость n и R_0 объясняется тем, что в полуметаллах и узкозонных полупроводниках, несмотря на малую концентрацию электронов, в слабых магнитных полях R имеет отрицательный знак, но вследствие влияния дырок на R_0 , его величина не может достигнуть такого большого значения, которое определяло бы n . По мере возрастания концентрации n происходит увеличение значения R_0 . Этот процесс происходит до тех пор, пока не удовлетворяется условие $n\mu_n \approx p\mu_p$. Поскольку подвижность носителей заряда не очень сильно изменяется, то условие $n\mu_n \approx p\mu_p$ достигается благодаря возрастанию n . Поэтому по мере увеличения n , R_0 возрастает, достигает определенного значения, затем с дальнейшим ростом n , R_0 начинает уменьшаться, т.е. с ростом n , R_0 должен достигать максимума.

Результаты по термоэдс $\alpha_0(T)$ однозначно указывают на возрастание концентрации электронов при γ и электронном облучениях. Для количественного анализа экспериментальных данных по α_0 привлечены параметры

носителей заряда, вычисленные по методике изложенной в [5]. В случае, когда в проводимости участвуют одновременно электроны и дырки, термоэдс выражается как

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_p \sigma_p + \alpha_n \sigma_n}{\sigma_p + \sigma_n} \quad (2)$$

где α_i и σ_i ($i=p, n$) парциальные вклады носителей в термоэдс и проводимость, соответственно. Парциальные термоэдс рассчитывались согласно [6]

$$\alpha_i = -\frac{k_0}{e} \left[\frac{I_{r+1,2}^1(\eta^*, \beta)}{I_{r+1,2}^0(\eta^*, \beta)} - \eta_i^* \right] \quad (3)$$

с привлечением температурных зависимостей концентрации n_i и эффективных масс m_i носителей заряда

$$n_i = \frac{(2m_i^* k_0 T)^{3/2}}{3\pi^2 \hbar^3} \cdot I_{3/2}^0(\eta^*, \beta) \quad (4)$$

Здесь $I_{b,c}^\alpha$ - двухпараметрические интегралы Ферми, η^* - приведенные химпотенциалы, $\beta = E_g/kT$ - параметр непараболичности, r - параметр механизма рассеяния. В расчетах для дырок было принято $m_p^* = 0, 4m_0$.

Как показали расчеты, при низких T , несмотря на то, что $|\alpha_n| > |\alpha_p|$, в термоэдс, благодаря тому, что $\sigma_p \gg \sigma_n$ и $p \gg n$, доминирующую роль играют дырки. Увеличение n , а следовательно σ_n и α_n с ростом T приводит к тому, что в зависимости $\alpha_0(T)$ при $T \sim 25K$ (до облучения) α_0 достигает максимума, а при более высоких T наблюдается инверсия знака α_0 (рис.3). Возрастание концентрации электронов при облучении приводит к заметному увеличению σ_n , а это в свою очередь, приводит к уменьшению величины α_0 в области, где $\alpha_0 > 0$ и к ее росту в области, где $\alpha_0 < 0$. Возрастание n и σ_n при облучении обуславлива-

ет и смещение точки инверсии знака α_0 в область низких T ; в том же направлении смещается и положение максимума $\alpha_0(T)$. Отклонение расчетных кривых от экспериментальных при $T > 50\text{K}$ связано с погрешностями определения зонных параметров (E_g , m_n^* , η_n^*).

Как известно, термомагнитный эффект Н-Э является аналогом эффекта Холла. В случае вырожденного одного типа носителей заряда и слабого магнитного поля поведение температурных и полевых зависимостей коэффициента Холла R_x и Н-Э E_y соответствуют друг другу. Эффект Н-Э наиболее чувствителен к механизму и характеру рассеяния, наличию другого типа носителей заряда и т.д.

Не прибегая к подробному анализу результатов о влиянии облучения на E_y , который представляет особый интерес, отметим, что результаты по E_y тоже дают основание сделать вывод о том, что облучение электронами и γ -лучами приводит к росту концентрации электронов

проводимости, что указывает на образование РД донорного типа.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Влияние электронного и γ -облучений на электрофизические свойства кристаллов КРТ идентично, отличие сводится лишь к степени действия.

2. Как электронное, так облучение γ -лучами не влияют на механизм рассеяния носителей заряда.

3. После γ и электронного облучений, концентрация электронов проводимости растет. В отдельных случаях это приводит к инверсии знака проводимости.

4. Полагается, что источником возникших электронов при облучении являются РД донорного типа на основе вакансий Те.

Выражаю благодарность проф. Алиеву С.А. за ценные советы при обсуждении результатов.

- [1] Melngailis John, Lean L.Ryan and Theodore C. Harman. J. Appl. Phys., 1973, v.44, n.6, p.2647-2651.
- [2] В.Н. Брудный, А.В. Войцеховский, З.Г. Гречух, М.А. Кривов, Ю.В. Лиленко, Л.Н. Лимаренко, М.В. Пашковский, А.С. Петров, А.И. Потапов. ФТП, 1977, т.11, в.8, с.1540-1544.
- [3] А.В. Власенко, В.В. Горбунов, А.В. Любченко. УФЖ, 1984, т.29, № 3, с.423-428.

- [4] И.Я. Дехтияр, М.И. Дехтияр, В.В. Дякин, Ф.А. Заитов, А.И. Власенко, С.И. Лихторович, А.А. Любченко, С.Г. Сахарова, В.И. Силантьев, Р.Г. Федченко. ФТП, 1984, т.18, в.11, с.1970-1974.
- [5] S.A. Aliev, R.I.Selim-zade, E.I. Zulfigarov, T.G. Gadzhiev. J. Radiation Effects, Great Brit., 1988, v.106, p.203-208.
- [6] Б.М. Аскеров. Наука, Л., 1970.

E.İ. Zulfıqarov

Cd_xHg_{1-x}Te BƏRK MƏHLULLARININ ELEKTRİK, QALVANOMAQNİT VƏ TERMOMAQNİT XASSƏLƏRİNƏ ELEKTRON VƏ γ -ŞÜALARIN TƏ'SİRİ

Bu məqalədə Cd_xHg_{1-x}Te (x=0,12; 0,15) bərk məhlullarının elektrik, qalvanomaqnit və termomaqnit xassələrinə elektron və γ -şüaların təsiri öyrənilib. Şüalanmaların təsiri nəticəsində Nernst-Ettingshauzen əmsalının böyüməsi müşahidə olunur. Təcrübi nəticələr təsdiq edir ki, elektron və γ -şüaların təsiri nəticəsində Cd_xHg_{1-x}Te kristallarında donor tipli radiasiya defektləri yaranır.

E.I. Zulfigarov

EFFECT OF ELECTRON AND γ -IRRADIATION ON Cd_xHg_{1-x}Te ELECTRIC, GALVANOMAGNETIC AND THERMOMAGNETIC PROPERTIES

The effect of electron and γ -irradiation on electric, galvanomagnetic and thermomagnetic effects in Cd_xHg_{1-x}Te (x=0,12; 0,15) has been studied. The irradiation is accompanied by an increase in the Nernst-Ettingshausen coefficient. The results confirm the conclusion that under electron and γ -irradiation of the Cd_xHg_{1-x}Te crystals the donor type radiation defects are formed.