

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики

Дипломна робота (проект)
магістра

з теми:

**«Дослідження електрофізичних
характеристик халькогенідів свинцю»**

Виконав:

студент 2 курсу Fb1-M17z групи
спеціальності 014 Середня освіта
(Фізика)

Поліщук Віталій Іванович

Керівник:

кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фізики

Оптасюк С.В.

Рецензент:

доктор педагогічних наук, професор

Атаманчук П.С.

Кам'янець-Подільський – 2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1. Напівпровідники, їх будова та електричні властивості.....	6
1.1. Поняття про напівпровідники.....	6
1.2. Будова напівпровідників.....	
Особливості напівпровідникових матеріалів.....	8
1.3. Електропровідність напівпровідників та їх електричні властивості...	10
Розділ 2. Термоелектричні явища.....	14
2.1. Термоелектричний ефект Зеєбека.....	14
2.2. Електротермічний ефект Пельтьє.....	18
2.3. Електротермічний ефект Томсона.....	20
2.4. Термоелектричні перетворювачі.....	
Принцип дії, перспективні матеріали.....	23
2.5. Напівпровідникові холодильники Пельтьє.....	26
Розділ III. Гальваноманітні явища.....	31
3.1. Види гальваноманітних явищ.....	31
3.2. Природа ефекту Холла.....	34
3.3. Дослідження зразка прямокутної форми методом класичного ефекту Холла.....	37
3.4. Аналіз електрофізичних параметрів плівок телуриду свинцю в магнітному полі.....	43
3.5. Розрахунок основних електрофізичних параметрів напівпровідникової плівки.....	47
3.6. Електрофізичні параметри тонкопліткових структур.....	51
Розділ 4. Електричні властивості тонких плівок телуриду свинцю.....	54
4.1. Особливості структури і електричних властивостей тонких плівок телуриду свинцю легованих вісмутом.....	54
4.2. Вплив хімічного складу на термоелектричні властивості напівпровідникових сполук на основі телуриду свинцю.....	61
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

Вступ

Актуальність теми. Останні десятиліття розвитку фізики твердого тіла характеризуються тим, що основними об'єктами дослідження все частіше стають не масивні кристали, а напівпровідникові тонкі плівки, багат шарові тонкоплівкові системи, наноструктури. У таких системах істотно змінюється більшість електронних властивостей – виникає велике число нових, так званих розмірних ефектів. Сучасна фізика напівпровідників неможлива без розгляду впливу магнітного поля на електронні властивості напівпровідника. Вивчення взаємодії носіїв заряду в напівпровідниках із магнітним полем, починаючи з класичних гальваномагнітних явищ – ефекту Холла та магніторезистивного ефекту й закінчуючи квантовим ефектом Холла та ефектами спінзалежної рекомбінації і перенесення є важливим аспектом пізнання напівпровідникових матеріалів як з погляду фундаментальної науки, так і для їхнього практичного застосування. Для нових областей сучасної електронної техніки актуальною залишається тонкоплівкова реалізація властивостей матеріалу. Високі значення оптичного коефіцієнта поглинання ($10^3 \sim 10^4 \text{ см}^{-1}$) та статичної діелектричної проникності (декілька сотень) дають можливість використовувати тонкі плівки для створення багатоелементних матриць. Розглядаючи напівпровідникові матеріали, варто звернути увагу на сполуки системи $A^{IV}B^{VI}$. Такі напівпровідникові сполуки використовуються в різних галузях електроніки, а саме: в сонячних батареях, спінтроніках, в якості джерел і детекторів середнього і далекого інфрачервоного діапазону оптичного спектру, для елементів пам'яті і вони є базовим матеріалом для створення термоелектричних перетворювачів енергії, фотоприймальних пристроїв. Сполуки такого типу серед усіх напівпровідникових сполук являються унікальними через ряд певних фундаментальних характеристик: ширина забороненої зони, висока діелектрична проникність, радіаційна стійкість, високі значення рухливості носіїв заряду, висока іонність та ін.

Напівпровідники групи $A^{IV}B^{VI}$ цікаві також з теоретичної точки зору у зв'язку з наявністю ряду особливих фізичних і фізико-хімічних властивостей: відхилення від стехіометрії, аморфного стану, надпровідності, аномальної

поведінки ряду кінетичних коефіцієнтів, особливостей зонної структури, що дозволяє змінювати ширину забороненої зони кристалів в залежності від температури, складу, тиску тощо.

Відносна простота кристалічної структури (кубічна решітка типу NaCl, інколи дещо деформована) робить напівпровідники цієї групи зручним матеріалом для вивчення мікроскопічних механізмів виникнення вказаних вище властивостей і явищ, встановлення зв'язків між ними.

В цьому відношенні значний інтерес для дослідження може представляти телурид свинцю PbTe – матеріал, в якому всі перераховані вище особливі властивості напівпровідникової групи $A^{IV}B^{VI}$ виражені найбільш чітко і повно. Особливий інтерес до даної сполуки викликаний її термоелектричними властивостями та створенням на її основі *p*-віток термоелементів.

Мета роботи – дослідити вплив магнітного поля на електрофізичні параметри тонкоплівкових напівпровідникових структур, зокрема використовуючи ефект Холла отримати основні електрофізичні параметри напівпровідників.

Мета роботи полягала у розв'язанні таких наукових завдань:

1. Навести порівняльні характеристики експериментальних методів визначення постійної Холла та електрорушійної сили Холла;
2. Провести дослідження вольт-амперних характеристик напівпровідникових зразків;
3. Провести вимірювання постійної Холла та електрорушійної сили Холла класичним методом;
4. Провести розрахунки питомої електропровідності, концентрації вільних носіїв заряду, рухливості, тип провідності в напівпровідникових сполуках;

Об'єкт дослідження: термоелектричні матеріали, тонкі плівки PbTe:Sb різної товщини.

Предмет дослідження: Електрофізичні параметри провідника,

Наукова новизна полягає в тому, що вперше проведено електрофізичні дослідження в магнітному полі тонкоплівкових термоелектричних матеріалів на основі телуриду свинцю

Робоча гіпотеза дослідження полягає в тому, що зміна температурних умов синтезу впливає на формування числа і типу власних дефектів, які можуть вплинути на числові значення електро- та теплопровідності, що в кінцевому результаті приводить до зміни термоелектричних параметрів. Число і тип таких дефектів можна змінювати також відхиленням від стехіометричного складу. Особливо цікавим є вивчення поведінки домішок, які можуть проявляти амфотерні властивості завдяки тому, що їх валентність знаходиться між валентностями компонентів А і В.

ВИСНОВКИ

Тонкі напівпровідникові плівки системи A_4B_6 , на відміну від товстих плівок, — є одними із найкращих матеріалів для дослідження гальваномагнітних явищ завдяки тому, що для тонкої плівки можливо отримати майже ідеальну збіжність з експериментом.

1. Були побудовані вольт-амперні характеристики контактів для перевірки їх на омічність. Лінійність вольт-амперних характеристик усіх контактів показує відсутність різного роду дефектів та бар'єрів, що дало змогу досліджувати зразки без серйозних похибок та спотворень результатів обчислення.

2. Проведена порівняльна характеристика вимірювання електрорушійної сили Холла в напівпровідникових тонких плівках. Показано, що класичний метод є найбільш оптимальнішим та достовірнішим методом визначення е.р.с. Холла.

3. Отримано значення постійних Холла та е.р.с. Холла для тонкоплівкових напівпровідникових структур різної товщини

4. Розраховано значення рухливості та концентрації основних носіїв заряду в $PbTe:Sb$.

5. Показано, що домішкові стани у валентній зоні, що відповідають за компенсацію дірок, утворюються у випадку, коли два атоми Bi розміщуються в решітці поряд з вакансією металу і отримують можливість віддати третій p -електрон у валентну зону. Чим нижча концентрація Bi , тим менш ймовірна така конфігурація. Тому цей ефект компенсації падає зі зниженням концентрації домішки, при введенні 1 ат% Bi густина дірок не змінюється.

6. Встановлено, що при високому вмісті Bi може виявитись, що більша частина металічних вакансій, що наявні в $GeTe$, займає відмічені позиції в решітці. Тому ці вакансії вільних носіїв надають, дірки локалізуються в домішкових станах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шалимова К.В.. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976, 416с.
2. Смит Р.. Полупроводники. М.: Мир, 1982, 560с.
3. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975, 584с.
4. Бонч-Бруевич В.Ш., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.:Наука, 1977, 637с.
5. Зеегер К.. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977, 615с.
6. Павлов Л.П.. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1987, 238с.
7. Кучис Е.В.. Методы исследования эффекта Холла. М.: Сов. радио, 1974, 328с.
8. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Киев: Наукова думка, 1975, 704с.
9. D.V.Lang and R.A.Logan, Phys. Rev. Lett., 39, 635 (1977)
- 10.Л.П. Павлов. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. М., 1975. Гл.1 параграфы 1.1, 1.2.
- 11.“Атомная диффузия в полупроводниках”, под ред. Д.Шоу, М.: Мир, 1975. Гл. 4, стр. 205-209, 213-218.
- 12.Грин М. Поверхностные свойства твердых тел. – Москва: Мир, 1972. – 432 с.
- 13.Vaya P.R., Majht J., Gopalam B.S.V., Dattatrepan C. Thickness dependence of hall mobility of HWE grown PbTe films // Phys. Stat. Sol. A. – 1985. – V. 87. – P. 341–350.
- 14.Абрикосов Н.Х. Полупроводниковые материалы на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$ / Н.Х. Абрикосов, Л.М. Шалимова. – Москва: Наука, 1975. – 196 с.
- 15.Сабо Є.П. Технологія халькогенних матеріалів. Фізичні основи / Є.П. Сабо // Термоелектрика. – 2004. - №1. – С. 56-69.

16. Moriguchi V. The continuous rhombohedral-gubic transformation in GeTe-SnTe alloys / V. Moriguchi, V. Koga. // J. Phys. Soc. Japan. – 1957. – №1. – С. 100.
17. Anngair R. S. The uniform behaviour of electric quadrupole transition probabilities from first 2+ states in even-even nuclei / R. S. Anngair. // Physical Review. – 1962. – №12. – С. 554.
18. Получение однородных твердых растворов методом сверхбыстрого охлаждения / А. Ф. Белов, В. М. Глазов, Ю. В. Ятманов, А. Я. Потемкин. // ДАН СССР. – Т. 277, №51984. – С. 1155-1160.
19. Heremans J. P. Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states / J. P. Heremans. // Science. – 2008. – №321. – С. 554.
20. Averkin A. A. Tuning of PbSe Lasers by Hydrostatic Pressure from 8 to 22 GPa / A. A. Averkin, U. V. Ilisavsky, A. R. Regel. – London: Internat. Conf. Phys. Semicond. Exter, 1962. – 690 с.
21. Goodenough J. B. Metallic oxides / J. B. Goodenough. // Progress in solid state chemistr. – 1971. – С. 145–339.
22. Концентрация дырок и термоэлектрическая эффективность твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ / [Г. Т. Алексеева, М. В. Ведерников, Е. А. Гуриева та ін.]. // ФТП. – 2000. – №32. – С. 56–59.
23. Равич Ю. И. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe и PbS / Ю. И. Равич, Б. А. Ефимова, И. А. Смирнов. – Москва: Наука, 1968. – 384 с.
24. Фреїк Д. М. Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів / Д. М. Фреїк, В. М. Шперун, Р. І. Запукляк. – Івано-Франківськ: Плай, 2000. – 250 с.
25. Аскеров Б. М. Диссипативные термо- и гальваномагнитные явления в полупроводниках в произвольных квантующих магнитных полях / Б. М. Аскеров. // ФТП. – 1986. – Т. 20, №1. – С. 186–189.

26. Заячук Д. М. К вопросу о доминирующих механизмах рассеяния носителей заряда в теллуриде свинца / Д. М. Заячук. // ФТП. – 1997. – Т. 31, №2. – С. 217–220.
27. Thermoelectric properties of nonstoichiometric PbTe prepared by HPHT / [S. Taichao, J. Xiaopeng, M. Hongan та ін.]. // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – №468. – С. 410–413.
28. Рогачева Е. И. Температурные и концентрационные подвижности носителей заряда в твердых растворах PbTe-MnTe / Е. И. Рогачева, И. М. Кривулькин. // ФТП. – 2002. – Т.36, №9 – С. 1040–1044.
29. Thermoelectric Properties of Nanostructured Bismuth-Doped Lead Telluride $\text{Bi}_x(\text{PbTe})_{1-x}$ Prepared by Co-Ball-Milling / [O. Falkenbach, D. Hartung, P. J. Klar та ін.]. // Journal of Electronic Materials. – 2014. – Vol. 43, Issue 6– С. 1647–1680.
30. Correction to “High-Throughput Measurement of the Seebeck Coefficient and the Electrical Conductivity of Lithographically Patterned Polycrystalline PbTe Nanowires” / [Y. Yang, D. Taggart, M. Cheng та ін.]. // J. Phys. Chem. Lett. – 2011. – №2(9). – С. 944–954.
31. Electronic structure, structural properties, and dielectric functions of IV-VI semiconductors: PbSe and PbTe / [E. A. Albanesi, C. M. Okoye, C. O. Rodriguez та ін.]. // Physical Review B. – 2000. – №61. – С. 16589.
32. Properties of PbTe and PbSe / C. E. Ekuma, D. J. Singh, J. Moreno, M. Jarrell. // Physical Review B. – 2012. – №85. – С. 085205.
33. Xu L. Thermoelectric transport properties of PbTe under pressure / L. Xu, Y. Zheng, J. C. Zheng. // Physical Review B. – 2010. – №82. – С. 195102.
34. Upadhyaya K. S. Lattice dynamics of IV–VI ionic semiconductors: an application to lead chalcogenides / K. S. Upadhyaya, M. Yadav, G. K. Upadhyaya. // Phys. Status Solidi. – 2002. – №229. – С. 1129.
35. An J. Ab initio phonon dispersions for PbTe / J. An, A. Subedi, D. J. Singh. // Solid State Commun.. – 2008. – №148. – С. 417.

36. Lattice contribution to the high dielectric constant of PbTe / [Y. W. Leite Alves, A. R. Neto, L. M. Scolfaro та ін.]. // Phys. Rev. B. – 2013. – №87, 115204.
37. Clogston A. M. Upper limit for the critical field in hard superconductors / A. M. Clogston. // Physical Review Letters. – 1962. – №126. – С. 230.
38. Klotz S. Anomalous pressure dependence of acoustic phonons of AgGaSe₂ investigated by inelastic neutron scattering to 4.3 GPa / S. Klotz. // Kristallogr. – 2001. – №216. – С. 420.
39. Вольт-амперные характеристики и эффект переключения в низкоомное состояние в PbTe<Ga> при низких температурах / Б. А. Акимов, А. В. Албул, Е. В. Богданов, В. Ю. Ильин. // Письма в ЖТФ. – 1980. – №6. – С. 1300–1305.
40. Ts. A. Kryskov, T. S. Lyuba, S. V. Optasyuk, O. M. Rachkovsky, V. I. Tsykaniuk. Temperature dependence of the thermoelectric coefficient of multicomponent solid solutions based on germanium telluride / XIVth International young scientists' conference on applied physics, June, 11-14, 2014, Kyiv, Ukraine : book of abstracts. - Kyiv, 2014. - P. 91-93.
41. Y. Ishihara, Y. Ohno, I. Nakada. Anisotropic Electrical Properties Of GeSe Physica status solidi (b) - Vol. 121 - Issue 1 - 1984 - pp. 407-412
42. Абрикосов Н.Х. Полупроводниковые соединения, их получения и свойства / Абрикосов Н.Х., Порецкая Л.В., Шелимова Л.Е. – М.: Наука, 1967. — 244с.
43. Алфёров Ж. И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии // УФН. 2002. Т. 172. № 9. С. 1068 – 1086.
44. Анатичук Л.І. Термоелементи і термоелектричні прилади: Довідник / Анатичук Л.І. – К.: Наукова думка, 1979. — 768 с.
45. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов / Вайнгард У. – М.: Мир, 1967. – 160с.

46. Власенко О.І., Левицький С.М., Криськов А.А., Криськов Ц.А. Спосіб отримання однорідно легованих кристалів A^4B^6 . // Патент України на корисну модель № 43897. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.09.2009 р.
47. Коржуев М.А. Электросопротивление и термо-ЭДС теллурида германия в районе фазового перехода // ДАН СССР, 1975, т. 220, №2, с. 403-406.
48. Криськов Ц.А., Люба Т.С., Оптасюк С.В., Рачковський О.М., Циканюк Б.І. Вплив хімічного складу на термоелектричні параметри телуриду германію / Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2014», 15-17 травня 2014 року, Львів, Україна : тези доповідей. - Львів, 2014. - С. 109.
49. Криськов Ц.А., Люба Т.С., Оптасюк С.В., Рачковський О.М., Циканюк Б.І. Вплив домішок на термоелектричні параметри $Ge_{1-x}Bi_xTe$ / Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна - 2014 », Київ, 25-28 березня 2014 року. - Київ, 2014. - С.159-160.