

ПРО ВПЛИВ ПЕВНОЇ КОМБІНАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА МАГНІТНОГО ПОЛІВ НА КРИСТАЛІЧНЕ ТІЛО

Досліджено вплив комбінації постійного електричного та магнітного полів на електрофізичні властивості напівпровідникових матеріалів $Hg_{1-x}Mn_xSe$, $Hg_{1-x}Mg_xTe$, $In_2Hg_3Te_6$, полікристалічного Ge легованого Hg та Sb і монокристалічного Ge. Виявлено, що вплив спостерігається у кристалах, які мають нестабільний стан (наявність фазових переходів, кластерів, дифузії домішок).

The studied by the influence some combinations of the electric and magnetic fields to the parameters of the semiconductors materials $Hg_{1-x}Mn_xSe$, $Hg_{1-x}Mg_xTe$, $In_2Hg_3Te_6$, polycrystalline Ge, alloyed with Hg and Sb, and the monocrystalline Ge. The reveal, that the influence was observed by the crystals, that head no stability condition (the existence phases crossings, clusters, diffusions admixture).

Останнім часом отримані цікаві результати, які свідчать, що при певному взаємному розташуванні постійного електричного поля та магнітного поля тороїдального характеру властивості деяких напівпровідникових приладів, а саме фотодіодів на основі кремнію, поліпшуються [1] (зменшується темновий струм). При цьому вплив окремо електричного та магнітного полів на фотодіод не змінює його параметри. Виходячи з теоретичних міркувань [2], комбінацію полів, застосовану в [1], можна вважати джерелом так званого торсійного поля. Оскільки на даний час неможливо довести або спростувати дану тезу, то ми обмежимося відомими та легко контролюваними параметрами і термінами, застосованими у [1], а саме: комбінацією електричного та магнітного полів.

Дослідження поведінки фотодіодів на основі кремнію [1] показали, що вплив запропонованої комбінації полів найбільш відчутний для фотодіодів з площею $p-n$ переходу $0,8-1,0$ см². Вплив комбінації полів на полікристалічні плівки $PbSeTe<Mn>$ [3] приводить до зміни у спектрах фотопровідності. Для подальшого дослідження отриманого ефекту - впливу комбінації електричного і магнітного полів на кристалічне тіло - було проведено дослідження зміни магнітної сприйнятливості твердих розчинів $Hg_{1-x}Mn_xSe$. Вибір об'єкта досліджень зумовлений наявністю у кристалічній ґратці магнітної компоненти (в нашому випадку Mn), що має спіновий момент $S=5/2$ та існуванням у кристалі нестабільної підсистеми

кластерів типу Mn-Se-Mn-Se [4].

Джерело впливу (надалі випромінювач) створює однорідне магнітне поле тороїдального характеру, ортогонально зорієнтоване відносно електричного постійного поля напруженості від 50 до 1500 В/см. Згідно з [2] вплив на дослідні зразки підсилювався через конічну поверхню. Необхідно зауважити, що поблизу випромінювача були відсутні джерела електромагнітного та теплового випромінювання. Дослідні зразки виготовлялись у вигляді паралелепіпеду ($5 \times 2 \times 2$ мм³) і розташовувались на відстані 60-90 мм від конічної поверхні випромінювача. Час перебування зразків у полі випромінювача змінювався від 1 хвилини до 3 діб. Вимірювання магнітної сприйнятливості χ здійснювалось методом Фарадея у діапазоні температур $77 \div 350$ К. При цьому для більш детального вивчення процесів у магнітній підсистемі виділений внесок у магнітну сприйнятливості від $3d$ -електронів домішок Mn (χ_{Mn}).

На рис.1 показана температурна залежність χ_{Mn}^{-1} для зразка $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,18$). Чітко спостерігається збільшення за абсолютною величиною парамагнітної температури Кюрі Θ від -125 К до -160 К (змінюється кут нахилу). Внаслідок опромінення температура Кюрі збільшується. Для неопромінених зразків ріст $|\Theta|$ має місце при збільшенні концентрації марганцю [4], що пов'язано зі зростанням обмінної взаємодії, тобто з укрупненням розміру кластерів. У нашому випадку в процесі опромінення має місце взаємодія мікроскопічного власного

поля іонів марганцю з макроскопічним полем опромінення. У результаті відбувається локальна (у межах кластеру) зміна вільної енергії Гібса, що робить термодинамічно вигіднішим збільшення розміру кластерів уже при кімнатній температурі. В роботі [4] також спостерігається збільшення $|\Theta|$ для неопромінених зразків ($x=0,18$) після відпау у вакуумі, яке співрозмірне з ростом $|\Theta|$ у нашому випадку. Ймовірно, що суть процесів тут однакова. Різні лише причини, що "вмикають" ці процеси. Можливо, що напрям зміни Θ (у бік збільшення або зменшення) визначається самою структурою кластерів, яка може бути різною для $Hg_{1-x}Mn_xSe$ у залежності від складу або технології вирощування [4].

Зазначимо, що похибка експерименту в проведених дослідах була на рівні 1%.

Як суттєво впливає наявність магнітної компоненти у кристалі на "чутливість" матеріалу до дії випромінювача? Для перевірки цього нами проведені електрофізичні вимірювання на матеріалах,

що не містять у собі магнітну компоненту, а саме: на зразках $In_2Hg_3Te_6$, $Hg_{1-x}Mg_xTe$ та Ge .

Зразки виготовлялись у вигляді паралелепіпеду розмірами не більше $10 \times 3 \times 3$ мм³. Електричні виводи зразків під час опромінення не знімались, а використовувались при подальших вимірах з метою виключення помилки при повторному впаюванні. Час перебування зразків під впливом випромінювання - від 1 хвилини до 3 діб.

Виявилось, що не всі зразки однаково чутливі до випромінювання. Зразки монокристалічного Ge та $Hg_{1-x}Mg_xTe$ ($x=0,1$) навіть після трьох діб опромінення не змінили своїх електрофізичних параметрів. Зовсім інакше для зразків $In_2Hg_3Te_6$ та зразків полікристалічного Ge , легованого Hg та Sb . Зразок $In_2Hg_3Te_6$ послідовно опромінено при кімнатній температурі протягом 30 хвилин, 3 годин, доби та 3 діб. Після кожного опромінення вимірювались концентрація носіїв струму n , електропровідність σ , коефіцієнт Холла R . Результати вимірів зведені у таблицю 1.

Таблиця 1. Електрофізичні параметри для зразків $In_2Hg_3Te_6$.

Параметр	Тривалість впливу					Зміна параметру
	до опромінення	30 хвилин	3 години	1 доба	3 доби	
$n, \text{см}^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{13}$	$0,96 \cdot 10^{13}$	$0,96 \cdot 10^{13}$	$0,96 \cdot 10^{13}$	35%
$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	$5,93 \cdot 10^{-4}$	$5,06 \cdot 10^{-4}$	$4,97 \cdot 10^{-4}$	$4,96 \cdot 10^{-4}$	$4,98 \cdot 10^{-4}$	16%
$R, \text{см}^3\text{Кл}^{-1}$	$4,23 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	46%

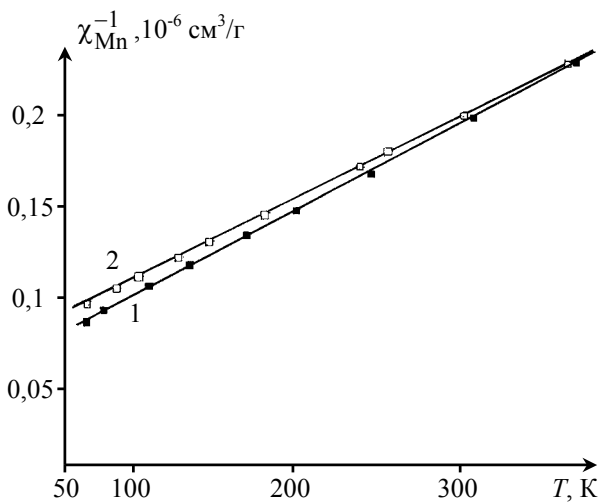


Рис.1. Температурна залежність магнітної сприйнятливості для зразка $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,18$) до опромінення (1) та після нього (2).

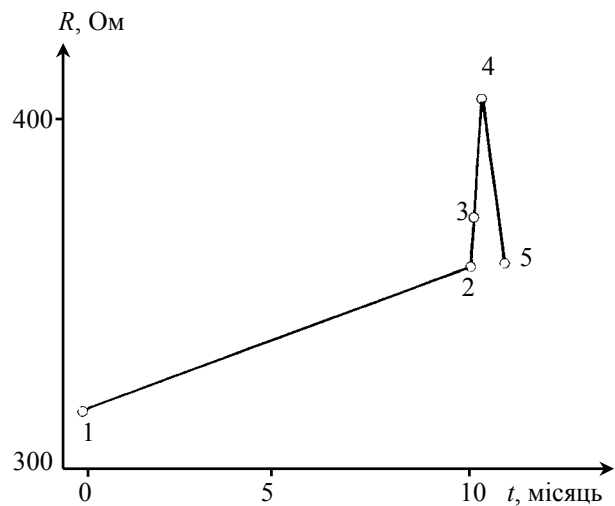


Рис.2. Залежність опору від часу опромінення для полікристалічного Ge легованого Hg та компенсованого Sb . Опір за 10 місяців до опромінення (1), перед опроміненням (2), через годину опромінення (3), через добу опромінення (4), через годину після опромінення (5).

Аналіз даних з таблиці 1 вказує на те, що основні зміни в електрофізичних параметрах зразка відбуваються у перші години опромінення.

Причину чутливості $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ до опромінення, напевно, треба шукати в особливостях структури матеріалу. Встановлено [5], що у монокристалів $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ при відпалі у вакуумі при температурі нижче 585 К відбувається розпад у твердому стані зі збереженням зовнішньої форми на дві фази: $\text{In}_2\text{Hg}_5\text{Te}_8$ з ґраткою сфалериту та In_2HgTe_4 зі структурою халькопіриту.

Зауважимо, що такий розпад на дві фази супроводжується зміною опору в межах, зареєстрованих нами при опроміненні. Це явище фазового переходу має обернений характер і поступове у часі. Очевидно, що опромінення комбінацією полів зразка $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ певним чином стимулює у ньому фазовий перехід.

Аналогічні досліди проведено для полікристалічного Ge, легованого Hg та компенсованого Sb. Залежність опору від часу опромінення для нього показано на рис.2. Зразок опромінювався двічі – на протязі години (позиція 3), та на протязі доби (позиція 4). Попередньо опір зразка вимірювався за десять місяців до опромінення, одразу після його вирощування (позиція 1), а також безпосередньо перед опроміненням (позиція 2) та після припинення опромінення через годину (позиція 5) і через добу.

На рис.2 добре спостерігається злам, що фіксує стрибкоподібну зміну опору зразка після опромінення. Характерною ознакою є також наявність ефекту старіння зразка та його релаксації, що вказує на дифузійний та комплексоутворюючий характер процесів, які відбуваються у полікристалі.

Застосована технологія отримання легованого полікристалічного Ge приводить до збагачення границь полікристалічних зерен атомами Hg та Sb у порівнянні з об'ємом [6]. Наявність у зразках компенсуючої домішки Sb у концентраціях $N_{\text{Hg}} < N_{\text{Sb}} < 2N_{\text{Hg}}$ веде до виморожування провідності по об'єму зерен вже при температурах 100–150 К. Оскільки вимірювання опору здійснювалось при температурі рідкого азоту, то у нашому випадку провідність зразка визначається умовами проходження струму по границі зерен. У щойно отриманому матеріалі (позиція 1) суттєве значення має провідність в об'ємі зерна. Тому опір мінімальний. По мірі старіння зразка (дифузія атомів Hg до границі зерен) провідність у значній мірі буде визначатись областю

поблизу границі зерен. Враховуючи багату домішкову структуру, а також відсутність зміни опору при кімнатній температурі, доцільно допустити утворення деяких домішкових комплексів на границі зерен, що виступають у якості "пасток" вільних носіїв струму.

Динаміка утворення цих комплексів, напевно, чутлива до дії комбінованого поля, яким опромінюється зразок, оскільки щойно утворені домішкові комплекси втрачають свою стабільність при відсутності поля впливу і поступово релаксують (позиція 5).

Тому можна з деяким допущенням стверджувати, що в усіх випадках вплив запропонованої комбінації постійних електричного та магнітного (тороїдального характеру) полів реєструється у системах, де є нестабільність стану - утворення кластерів, фазові переходи, дифузія домішок. Опромінення дещо прискорює ці процеси. При цьому зміни, які відбуваються зі зразками, у деяких випадках поліпшують їх електрофізичні параметри, що дозволяє сподіватись не лише на наукову цінність досліджень, а й на технологічне використання отриманих результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ащеулов А.А., Добровольський Ю.Г., Романюк І.С.* Дослідження впливу певних комбінацій електричного та магнітного полів на властивості напівпровідникових приладів // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 29: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.173-176.
2. *Шунов Т.И.* Теория физического вакуума. - М.: Энергия, 1993.
3. *Bachtinov A., Tarasjuk I., Jurtsenjuk V.* The external field influence on the self-organization in thin layers // Physical Problems in Material Science of Semiconductors. - Чернівці: Прут, 1997.
4. *Марьянчук П.Д., Гавалешко Н.П.* Неупорядоченные твердые растворы $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1987. - №8. - С.1271-1274.
5. *Грушка Г.Г., Скулиш Е.Д., Грушка З.М.* Фазовый переход в $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1982. - № 8. - С.1388-1390.
6. *Джюльде Д.А., Доброго В.П., Ильящук Ю.М.* Металлическая проводимость по границам зерен германия, легированного ртутью // ФТТ. - 1987. - 30, вып.8.- С.2391-2396.