

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКІВ В ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ ВНЗ

Вступ. Важливою складовою навчального процесу студентів технічних спеціальностей ВНЗів є організація проведення лабораторного практикуму, в процесі виконання якого студент набуває практичних навичок роботи з сучасними вимірювальними приладами і безпосередньо переконується в достовірності фізичних теорій та закономірностей, а, отримуючи результати експерименту, дізнається, фіксує і запам'ятовує порядок і числове значення фізичних величин, які характеризують ті чи інші властивості об'єктів дослідження і визначає можливості їх подальшого використання в техніці. Тому головною задачею при створенні лабораторних робіт є підготовка різноманітних об'єктів для дослідження, які дозволяють виявити і виміряти реальні властивості досліджуваного матеріалу, а також з'ясувати можливості впливу на ці характеристики різних факторів. Так, вивчення електричних властивостей напівпровідників починається з визначення знаку, концентрації та рухливості носіїв заряду. Ці характеристики суттєво залежать від матеріалу напівпровідника та концентрації і природи домішкових атомів. Найбільш розповсюдженим методом виміру таких характеристик є виміри напруги Холла в ефекті Холла [1]. На основі ефекту Холла створено різноманітні напівпровідникові датчики Холла для вимірювання напруженості магнітного поля та інших електричних і неелектричних величин [2]. Датчики Холла різних типів та призначення широко випускаються промисловістю. Чутливим елементом цих датчиків є пластинки напівпровідників різної природи та домішкового складу. Тому використання таких датчиків в лабораторному практикумі в якості зразків при дослідженні електричних властивостей напівпровідників допоможе усунути складний процес їх виготовлення та урізноманітнити спектр об'єктів різних типів. З'ясуванню таких можливостей для отримання достовірних знань про електричні властивості напівпровідників і призначена ця робота.

Постановка задачі. Ефект Холла полягає у виникненні різниці потенціалів на протилежних гранях пластини провідника зі струмом, який розміщено у перпендикулярному струму магнітному полі. Величина цієї напруги дорівнює:

$$U_x = R \frac{I \cdot B}{a},$$

де $R = A/ne$ – стала Холла, A – коефіцієнт, числове значення якого залежить від механізму розсіяння носіїв і ступеня виродження напівпровідника, n – концентрація носіїв струму, I – керуючий струм, B – індукція магнітного поля, a – товщина пластинки напівпровідника. Отже, вимірявши U_x та знаючи I , B , a , можна визначити сталу Холла, а відповідно і її знак, тобто належність напівпровідника до n - або p -типу, та концентрацію носіїв струму. Якщо додатково виміряти питому електропровідність провідника $\sigma = en\mu$, то, знаючи R , можна визначити рухливість носіїв заряду [1]:

$$\mu = \sigma / en = R\sigma.$$

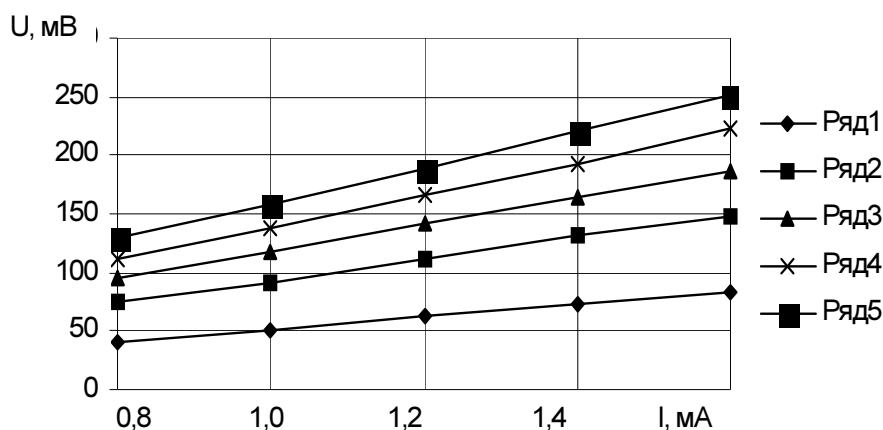
Таким чином, вимірювання, які проведені за допомогою ефекту Холла, спільно з вимірюванням провідності дають можливість визначити тип носіїв струму в провідниках, їх концентрацію n та рухливість μ .

Досліджуваний датчик Холла прилютовувався до контактів змінного тримача, конструкція якого дозволяла вимірювати електроопір датчика, і розміщувався між по-

люсними наконечниками електромагніту. Це дозволяло виміряти вольт-амперну характеристику керуючого струму та визначити електроопір датчика і відповідно питому електропровідність його чутливого елемента.

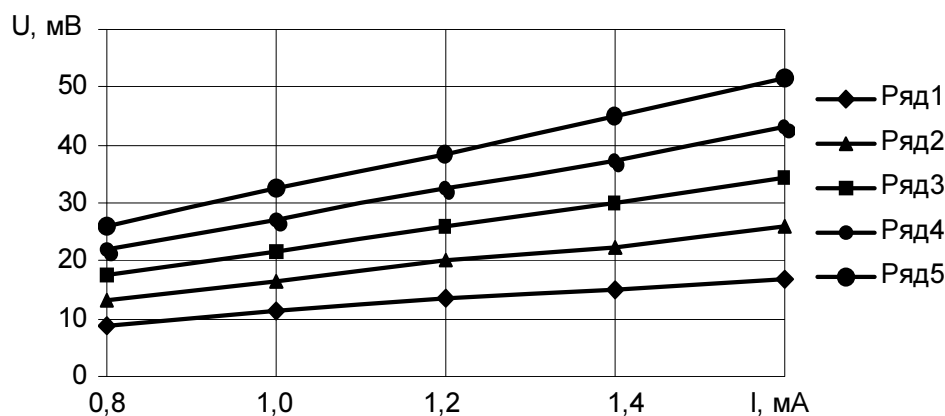
Виміри напруги Холла проводились при кожному значенні керуючого струму для двох протилежних напрямів магнітного поля, що дозволяло уникнути додаткового падіння напруги між холлівськими контактами, яке може бути обумовлено опором кристала між цими контактами в напрямі струму при їх неточному розташуванні.

Результати роботи. У роботі досліджувались датчик Холла ДХК-05, який виконано на основі планарної топологічної структури, створеної на поверхні кремнієвого кристалу, чутливим елементом якого є плівка Si [3], і датчик ПХИ-611, який створено на кристалі GaAs [3]. Геометричні розміри чутливих елементів датчиків вимірювались при розпакуванні датчиків такого ж типу і були наступними: $l \times b \times a = 0,8 \times 0,8 \times 0,01 \text{ мм}^3$ – для ДХК-05 (рис.1) і $1 \times 1 \times 0,2 \text{ мм}^3$ – для ПХИ-611 (рис.2).



1 – 0,092 Тл; 2 – 0,137 Тл; 3 – 0,183 Тл; 4 – 0,229 Тл; 5 – 0,275 Тл

Рисунок 1 – Залежність напруги Холла U_x від керуючого струму I крізь датчик ДХК-05 для різних значень магнітної індукції



1 – 0,049 Тл; 2 – 0,074 Тл; 3 – 0,098 Тл; 4 – 0,123 Тл; 5 – 0,148 Тл

Рисунок 2 – Залежність напруги Холла U_x від керуючого струму I крізь датчик ПХИ-611 для різних значень магнітної індукції

Вимірювалась залежність напруги Холла U_x від величини керуючого струму I крізь датчик при різних значеннях магнітної індукції B в зазорі електромагніту, де було розміщено датчик. Отримані результати цих вимірів для датчиків ДХК-05 і ПХИ-611

представлено на рис.1, 2. З куту нахилу цих залежностей $\alpha = \Delta U_x / \Delta I$ для відповідних значень магнітної індукції В (табл.1) методом лінійної регресії визначено сталу Холла R та концентрацію носіїв заряду:

$$n = \frac{A}{e R},$$

де a – товщина чутливого елемента датчика, $A = 1,18$ – коефіцієнт, який враховує розсіяння носіїв на фонах. Додаткові виміри вольт-амперної характеристики керуючого струму крізь датчики дозволили визначити питому електропровідність σ чутливих елементів і розрахувати рухомість носіїв заряду μ у напівпровідниковому матеріалі датчиків (табл.2).

Таблиця 1 – Залежність α від В за результатами рис.1, 2

ДХК-05	α , В/А	52,2	93,5	117,4	139,3	157,1
	В, Тл	0,092	0,137	0,183	0,229	0,275
ПХИ-611	α , В/А	11,0	16,3	21,7	27,1	32,3
	В, Тл	0,049	0,074	0,098	0,123	0,148

Таблиця 2 – Результати розрахунків електричних властивостей чутливих елементів датчиків Холла ДХК-05 і ПХИ-611 та їх порівняння з даними посилання [4]

Тип датчика Холла	Матеріал	R, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$	n, 10^{20} м^{-3}	σ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	μ , $10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Посилання
ДХК-05	Si	6,0±0,6	12,3±1,2	130,1±2,1	78±8	-
-	n-Si	5	26	80	-	Рис.21.9 а, б зразок №130 [4]
-	n-Si	-	21	-	15	Рис.21.14 [4]
ПХИ-611	GaAs	44,0±0,5	1,68±0,02	9,80±0,16	40,0±0,8	-
-	n-GaAs	4,4	-	50	-	Рис.21.76 крива 3 [4]
-	n-GaAs	-	38	-	80	Рис.21.77 [4]

Отримані з цих розрахунків значення сталої Холла, концентрації носіїв заряду, питомої електропровідності датчика і рухливості зарядів в матеріалі чутливого елемента для датчиків ДХК-05 і ПХИ-611 та їх порівняння з даними, викладеними в посиланні [4] для електричних властивостей відповідних напівпровідників, надані в табл.2. Співставлення отриманих результатів вимірів здійснювалось з величинами, які характеризують електричні властивості напівпровідникових матеріалів n-типу. Значення електричних характеристик цих матеріалів отримано з графіків відповідних залежностей, наданих в [4] для $T = 300 \text{ К}$. При цьому спостерігається добре співпадіння отриманого в роботі значення сталої Холла для Si (датчик ДХК-05) з величиною R в n – Si, який має близькі значення електропровідності σ і концентрації донорної домішки n (рис.21.9 а, б, зразок № 130 в [4]) та задовільний збіг величин рухомості μ для близької концентрації донорної домішки n (рис.21.14 в [4]). Деяка розбіжність результатів, отриманих для GaAs (датчик ПХИ-611, табл.2), можливо пов'язана з різницею в величині електропровідності σ при співставленні значення R (рис.21.76, крива 3 в [4]) або різницею в концентрації носіїв заряду при співставленні значень μ (рис.21.77 в [4]). Але, незважаючи

на це, отримані результати дають правильне уявлення про електричні властивості кристала GaAs.

Висновки. Таким чином в роботі на прикладі датчиків магнітного поля ДХК-05 і ПХИ-611 експериментально доведено можливість використання промислових датчиків Холла для їх дослідження в лабораторному практикумі ВНЗ з метою визначення електричних властивостей широкого класу напівпровідників, які використовуються в датчиках в якості чутливих елементів, і отримання достовірних параметрів з концентрації і рухливості носіїв заряду в них, сталої Холла та електропровідності. Така можливість дозволяє усунути складний процес виготовлення зразків для вимірювання в ефекті Холла електричних параметрів напівпровідників, який включає отримання пластинки напівпровідника певної форми і точних розмірів, а також точне розташування і прилютування холлівських та керуючих контактів на зразку. Невелика вартість цих датчиків і широка різноманітність їх типів, які виготовляються з напівпровідникових матеріалів різної природи та домішкового складу, дає можливість оминати стадію виготовлення зразків і охопити та отримати уявлення про електричні властивості напівпровідників різного складу. Не менш важливим є те, що при виконанні цієї роботи, ефект Холла використовується не тільки як метод дослідження, а і сам є об'єктом дослідження [1].

ЛІТЕРАТУРА

1. Меняйлов Н.Е. Лабораторний практикум з фізики / Н.Е.Меняйлов. – К.: Вища школа, 1972. – 304с.
2. Кобус А. Датчики Холла и магниторезисторы / А.Кобус, Я.Тушинский. – М.: Энергия, 1971. – 332с.
3. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника / М.Л.Бараночников. – М.: ДМК Пресс, Т.1. – 2002. – 691с.
4. Таблицы физических величин: справочник / [под ред. акад. Кикоина И.К.]. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008с.

Надійшла до редколегії 24.11.2014.

УДК 621.314

МИХАЙЛЕНКО В.В., к.т.н., ст. викладач
ЧИБЕЛІС В.І., к.т.н., доцент
КОВАЛЬЧУК Д.В., студент
НЕВМОЩЕНКОВ М.В., студент

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВАНADЦЯТИПУЛЬСНОГО НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ДЕСЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Вступ. Зміна перетворювачів у напівпровідникових пристроях дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі [1]. У роботах [2-6] показана доцільність використання напівпровідникових перетворювачів (НПП) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури НПП для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при п'ятизонному керуванні.