

**ОБЩ ПРЕГЛЕД НА ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА ТЕСТВАНЕ
НА ЕЛЕМЕНТИ НА ХОЛ****Гергана Миронова¹, Горан Горанов²**¹ *Технически университет - Габрово*² *Технически университет - Габрово***OVERVIEW OF MEASUREMENT SYSTEM FOR TESTING HALL
ELEMENTS****Gergana Mironova¹, Goran Goranov²**¹ *Technical university of Gabrovo*² *Technical university of Gabrovo***Abstract**

This report provides an overview of Hall elements and the DX50 measurement system, highlighting their significance in the field of electronics and sensor technology. Hall elements are crucial components in modern electronics, offering precise magnetic field measurement capabilities. The DX50 measurement system enhances the utility of these elements by providing a comprehensive testing and analysis platform. Together, they contribute significantly to advancements in sensor technology and various industrial applications. The DX50 measurement system is a cutting-edge solution designed for efficient and precise measurement of Hall elements' characteristics. It offers a user-friendly interface, allowing researchers and engineers to configure and control various parameters of Hall element testing. DX50's advanced software enables data collection, analysis, and visualization, facilitating rapid prototyping and development of Hall element-based applications.

Keywords: Hall element, measurement system, DX50**ВЪВЕДЕНИЕ**

Напредъкът в технологията се основава на непрекъснатото подобряване функционалността на съставните ѝ елементи и модули. Затова е от съществено значение запознаване в детайли с параметрите и функционирането им [5], [6], [7]. Измервателната система DX50 значително опростява провеждането на експерименти и лабораторни изследвания с полупроводни елементи от различни материали, като например елементи на Хол. Резултатите от измерванията се автоматично обработват чрез предоставения софтуер, което намалява риска от грешки при изчисленията и облекчава анализа на разно-

образния набор от полупроводникови елементи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

С развитието на физиката на полупроводниците измерването на коефициента на Хол и проводимостта се е утвърдило като основен метод за изследване на полупроводниковите материали. Чрез експериментални изследвания, включващи измерването на коефициента на Хол и проводимостта на полупроводникови материали, става възможно определянето на ключови параметри като типа на проводимост на материала, концентрацията на носителите на заряд, подвижността на

носителите и други [3], [4]. В съвременността Холовият ефект служи като основен метод за определяне на електрическите свойства на полупроводници. Елементите на Хол са известни с простата си, но надеждна структура, широк спектър на честотна реакция (достигащ до 10 GHz), дълъг жизнен цикъл и висока надеждност и намират приложение в области като измерване на мощност, автоматични системи за контрол и обработка на информацията.

DX50 системата за измерване на Ефект на Хол включва няколко ключови компонента като DXWD50 електромагнит, DX150 гаусметър, DX320 източник на постоянен ток, високопрецизно захранване F2031, държач за образци и компютърен интерфейс[2].

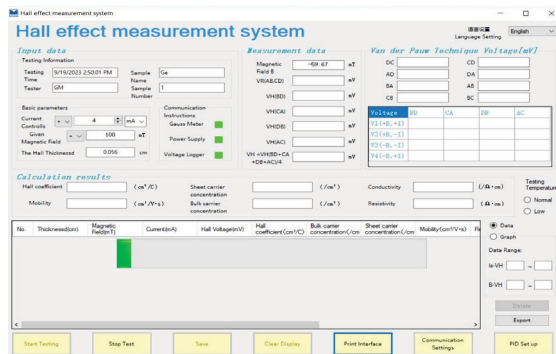


Фиг. 1. Измервателна система DX50

При измерването на характеристиките на различни елементи на Хол, е необходимо да се вземе предвид не само материалът, от който са изработени, но и множество други фактори, които могат да влияят на резултатите от измерванията. Важно е да се изберат подходящи методи и инструменти за измерване, които отчитат специфичните свойства на материалите и характеристиките, които се желае да се изследват. Необходимо е да бъде предвидено и какви фактори могат да повлияят на прецизността на измерванията и как да бъдат коригирани или компенсирани тези влияния. Коректното изпълне-

ние на процедурите дава надеждни и повторяеми резултати. При избирането на материал за елемент на Хол се вземат предвид няколко специфични изисквания към приложението на сензора - чувствителност, бързодействие, температурна стабилност, от които се влияе избора на германий, галиев арсенид и силиций. Всеки материал има своите предимства и ограничения, затова изборът трябва да се основава на желаната производителност и експлоатационна характеристика, като е необходимо да бъдат съобразени разходите при производство на елемента[1]. В статията е разгледан елемент на Хол от Германий и неговите параметри - напрежение и коефициент на Хол, концентрация на токоносители и тяхната мобилност.

Системата за измерване работи на база на Метода на Ван дер Пау, като предлага автоматизирано тестване и измерване на характеристики на полупроводникови елементи. Методът на Ван дер Пау е широко използвана техника във физиката на твърдото тяло и материалознанието за измерване на електрическото съпротивление и коефициента на Хол на тънки полупроводникови или метални проби. Методът включва създаване на тънък, планарен образец с известна геометрична форма (обикновено квадратна или правоъгълна) и контакти по краищата му. Чрез прилагане на ток, известен по стойност, през тези контакти и измерване на пада на напрежението в другата двойка контакти, може да бъдат определени електрическото съпротивление и коефициента на Хол на материала. Методът на Ван дер Пау се основава на фундаменталните връзки между тока, напрежението и свойствата на материала в двумерна система, което го прави ценен инструмент за характеризане на електрическите свойства на различни материали, особено в изследванията и разработването на полупроводникови устройства.



Фиг.2: Основен екран от софтуера

Измервателната система изследва различни параметри на избрания елемент на Хол, като предварително са зададени основните показатели - дебелина на пластината (cm), сила на магнитното поле (mT) и ток, протичащ през елемента (mA). След провеждане на експеримента, системата дава резултати за Коефициент на Хол (cm^3/C), Bulk carrier concentration ($/\text{cm}^3$), Sheet carrier concentration ($/\text{cm}^2$), подвижност ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), специфично съпротивление ($\Omega\cdot\text{cm}$) и специфична проводимост ($\Omega\cdot\text{cm}$).

Ефектът на Хол се проявява като разлика в напрежението между две страни на елемента, които са перпендикулярни на посоката на електрическия ток. Този ефект се представя с формулата:

$$V_h = V * I * R_h \quad (1)$$

където:

- V_h е Холовото напрежение (Hall voltage).
- V е магнитната индукция, приложена в правилната посока.
- I е електрическият ток, преминаващ през елемента.
- R_h е Холовият коефициент (Hall coefficient), който определя чувствителността на Холовия елемент.

Напрежението на Хол може да бъде използвано за измерване на магнитните полета, за определяне на интензитета и посоката им, както и за други приложения,

свързани с детекцията и измерването на магнитни явления.

Hall coefficient - определя чувствителността на елемента към магнитните полета. Той се измерва във волтове на ампер на метър на тесла ($\text{V}/(\text{A}\cdot\text{m}\cdot\text{T})$) и може да бъде положителен или отрицателен в зависимост от типа на материала и типа на носителите на заряд в него.

Bulk carrier concentration – Концентрация на носители във вътрешността във вътрешността на материала, от който е направен елемента. Тази концентрация е важен параметър, който влияе на коефициента на Хол и чувствителността на самия елемент. По-голяма концентрация на носители на заряд обикновено води до по-голямо напрежение на Хол, което елемента генерира, когато е подложен на магнитно поле. За да се извършат точни измервания на магнитните полета, често се избират елементи на Хол със съответно подходяща концентрация на носители на заряд. Концентрацията на носители на заряд в материала се изразява в брой на носителите на заряд на кубичен сантиметър (cm^3) или квадратен сантиметър (cm^2), в зависимост от размерите на материала. Различните материали могат да имат различни концентрации на носители на заряд, което влияе на характеристиките на елемента на Хол.

Sheet carrier concentration - концентрация на носители на заряд в повърхностен слой, които се намират в близост до повърхността на материала, от който е направен Холовият елемент. По-голямата концентрация обикновено води до по-голямо напрежение на Хол, Важно е да се има предвид, че тази концентрация се отнася до носителите на заряд, които се намират близо до повърхността на материала, и не включва носителите, които се намират в по-дълбоките слоеве на материала. Изразява се обикновено в брой на носителите на заряд на квадратен сантиметър (cm^2).

Мобилност (mobility) е способността на носителите на електрически заряд да се движат в материала при излагане на електрическо поле и магнитно поле. Този параметър определя колко лесно и бързо носителите на заряд могат да се движат в материала при приложени електрическо поле и как магнитното поле влияе на тяхното движение. Измерва се в единици като сантиметър на квадрат на волт на секунда ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) По-голяма мобилност означава, че носителите на заряд могат да се движат по-бързо и по-ефективно в материала, което води до по-голямо напрежение на Хол, генерирано от елемента, при дадено магнитно поле и електрически ток. "Mobility" е важен параметър при дизайна и избора на елементи на Хол за конкретни приложения, свързани с измерване на магнитни полета, както и за разработването на сензори и устройства, които използват такива елементи за тези цели. Проводимостта (mobility) представя възможността на токоносителите за движение през материала, когато върху пластината е приложен електрически ток. Изразява се със зависимостта

$$\mu = \sigma / (q * n) \quad (2)$$

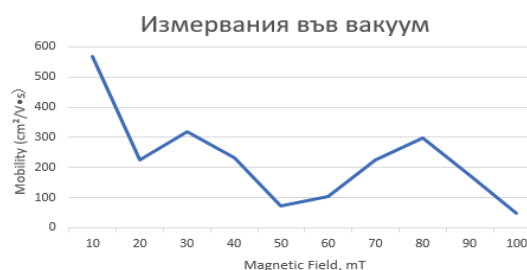
Magnetic Field (mT)	Hall Voltage (mV)	Hall coefficient (cm ² /C)	Bulk carrier concentration n (/cm ³)	Sheet carrier concentration (/cm ²)	Mobility (cm ² /V*s)	Resistivity (Ω*cm)	Conductivity (/Ω*cm)
100	0.000118751	0.1662507	3.76E+19	2.11E+18	48.49715	0.003428051	291.711
90	-0.000375	-0.5833334	1.07E+19	6.00E+17	171.3941	0.003403463	293.8184
80	-0.0005625	-0.9843745	6.35E+18	3.56E+17	298.91	0.003293213	303.6548
70	-0.00038125	-0.7624999	8.20E+18	4.59E+17	223.8279	0.003406635	293.5448
60	-0.00015	-0.35	1.79E+19	1.00E+18	103.1972	0.003391565	294.8491
50	-8.75E-05	-0.2450006	2.55E+19	1.43E+18	73.70331	0.003324146	300.8291
40	-0.0002125	-0.7437508	8.40E+18	4.71E+17	231.5314	0.00331231	311.3024
30	-0.000225	-1.050001	5.95E+18	3.33E+17	317.919	0.003302721	302.7797
20	-0.00010625	-0.7437504	8.40E+18	4.71E+17	225.6804	0.003295592	303.4356
10	-0.00013125	-1.837497	3.40E+18	1.90E+17	567.394	0.003238485	308.7864

Фиг. 3. Измерване при стандартни условия

За визуализация на стойностите на различните параметри, са проведени изследвания върху германиева пластина с неправилна форма и дебелина от 0,056 см. Поддържа се постоянна стойност на тока през пластината от 4 mA в целия експеримент, докато магнитното поле се варира в обхват от 10 до 100 mT. Системата е напълно автоматизирана и не изисква допълнителни настройки, с изключение на нулирането на гаусметъра. Самите етапи

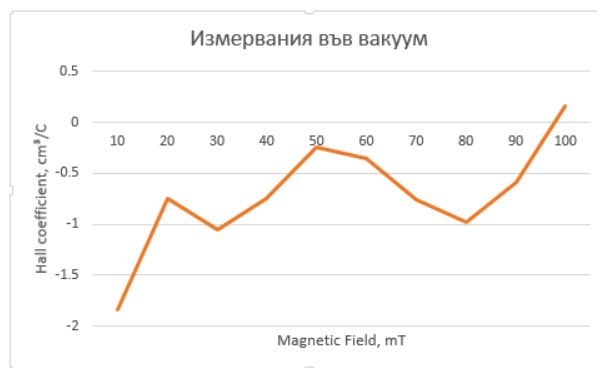
на измерване не се визуализират, но след кратки изчисления резултатите се представят на екрана. Софтуерът предоставя възможност за запис на няколко последователни измервания и тяхното таблично изнасяне в Excel.

Предимство на лабораторния макет е възможността за създаване на условия на вакуум в капсулата, в която се помещава изследваната пластина.



Фиг. 4. Зависимост на мобилността от магнитното поле

В допълнение към измервателните уреди, към системата е включена и помпа, предназначена за поддържане на вакуум. При провеждането на експеримента отново се подава ток от 4mA през германиевата пластина, при изменение на магнитната индукция в обхват от 100 до 10mT. Системата позволява визуализация на същите параметри, както и при нормални температурни условия. В двата случая извеждането на резултати и пресмятаня при зададени стойности на ток и магнитна индукция отнема приблизително 5 минути.



Фиг. 5. Зависимост на коефициент на Хол от магнитното поле

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, елементите на Хол са ключови компоненти в съвременната електроника, предлагащи прецизни възможности за измерване на магнитното поле. Системата за измерване DX50 подобрява полезността на тези елементи, като предоставя цялостна платформа за тестване и анализ. Заедно те допринасят значително за напредъка в сензорната технология и различни индустриални приложения. Предоставя се възможност за бъдещи изследвания, в рамките на които могат да се сравнят параметрите на пластини от различни материали, като например Si и GaAs, при различни условия.

Това включва вариране на стойностите на тока или магнитната индукция.

ACKNOWLEDGMENT

The studies were carried out with the financial support of the CoC “QUASAR”-project №BG05M2OP001-1.002-0006

REFERENCE

- [1] Coey J. Magnetism and magnetic materials
- [2] <https://www.magnetic-instrument.com/hall-effect-system-DX-50>
- [3] S. V. Lozanova and C. S. Roumenin, "Silicon Hall-effect Multisensor," 2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELECTRONICA50406.2020.9305138
- [4] S. Lozanova, M. Ralchev, and C. Roumenin, "Device for Semiconductor Carrier Mobility Measurement", C. R. Acad. Bulg. Sci. , vol. 75, no. 9, pp. 1334–1342, Sep. 2022.
- [5] A. Andonova, A. Alexandrov, N. Draganov, E. Ivanov, N. Kafadarova and S. Andreev, "Thermal difference investigation of the boundary surfaces of Hall element," 2009 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology, Brno, Czech Republic, 2009, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISSE.2009.5207018
- [6] V. Volchek, I. Lovshenko, V. Stempitsky, D. Dinh Ha, A. Belous and V. Saladukha, "Optimization of structural and technological parameters of the field effect Hall sensor," 2015 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), Ho Chi Minh City, Vietnam, 2015, pp. 642-644, doi: 10.1109/ATC.2015.7388410
- [7] Y. Xu et al., "Hall-Effect Sensor Design With Physics-Informed Gaussian Process Modeling," in IEEE Sensors Journal, vol. 22, no. 23, pp. 22519-22528, 1 Dec.1, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3216499.