

ОБОБЩЕН НАУЧЕН ДОКЛАД

на проект „*Нов неразрушителен метод за изследване на повърхността на полупроводникови структури*”

Договор № ДН 07/18 – 15.12.2016 г., ФНИ

Установени са експериментално три неизвестни до сега закономерности в сензориката и материалознанието: **1.** Първата се заключава в съществуване на магнитноуправляем повърхностен ток в проводящите материали, включително полупроводниците, който е линейна и нечетна функция на магнитното поле и захранващия ток. Анализът установи, че този ток е първопричина за добре известния класически ефект на Хол, а не натрупването на неподвижни разноименни товари върху срещуположните страни на структурите, например силициеви, както се считаше до сега. **2.** Втората доказва, че индивидуалният потенциал на Хол върху повърхността на елементите на Хол, от която силата на Лоренц отнема токоносителите е линеен от магнитното поле, независимо от стойността на захранващия ток и силата на индукцията. Потенциалът на Хол на срещуположната повърхност, която е с повишена концентрация на електроните, обаче е нелинеен. Това ново явление се дължи на магнитноуправляемия повърхностен ток в проводящите материали, като нелинейността е критерий за качеството на повърхността на съответната Холова страна. **3.** Третата закономерност се отнася до аномалии в поведението на двата Холови потенциала на елементите на Хол с ромбоидна форма от n -InSb и n -InAs. Тези особености се изразяват в това, че вместо потенциалите да са само линейни и нечетни от захранващия ток и магнитното поле, те съдържат две части - линейна и нелинейна. При относително високи стойности на магнитната индукция и захранващия ток нелинейната компонента е с тенденция за насищане. Зависимостите на положителния и отрицателния потенциал от тока и магнитното поле са асиметрични като положителният Холов потенциал и в двата вида образци е винаги с по-висока стойност спрямо отрицателния. Описаните характеристики са нетипични за ефекта на Хол, въпреки че такива сензори се произвеждат серийно за индустрията повече от 20 години. Съгласно предложената от екипа интерпретация, тези аномалии са в резултат от остроъгълната форма на структурите като силата на Лоренц повишава

съществено повърхностната плътност на електроните в единия връх с Холов електрод и формира обемен пространствен товар от положителни донорни йони върху срещуположния. Магнитноуправляваният повърхностен ток по периферията на страните, в зависимост от качеството на повърхността, шунтира отрицателната компонента на полето на Хол, ограничавайки нейното нарастване и възниква насищането. Явлението позволява чрез технологични процеси да се оптимизира и повиши линейния диапазон на този клас разпространени елементи за автоматизация.

Експериментите са проведени с дигитална измервателна апаратура, придобита от проектното финансиране. Тя е избрана така, че максимално да съответства на поставената цел и задачи, да е многофункционална, предоставяйки резултати с минимална грешка. Изследванията са осъществени и верифицирани със серийно произвеждани сензори на Хол както и с тестовите образци, реализирани по наши чертежи от водеща в микроелектрониката немска фирма. Това позволява проверка, развитие и надграждане на получената от нас информация от други екипи, което е съществено предимство.

За първи път е доказана ключовата роля в полупроводниковата електроника на индивидуалните Холови потенциали като изследователски метод за получаване на нови сензорни данни. Чрез изобретената от екипа оригинална компенсационна схема напълно се неутрализира негативното въздействие на квадратичното магнитосъпротивление върху линейните Холови потенциали, което позволи да се установят и изучат новите закономерности.

Възпроизводимата галваномангнитна информация за повърхността е приложена за първи път в създаването на три взаимнодопълващи се метода за определяне на повърхностната проводимост, повърхностния потенциал и приповърхностната подвижност на токоносителите, заявени от екипа за патентоване като изобретения. В сравнение с известните до момента метрологични процедури, обобщената експериментална методология е експресна, опростена и опитно възпроизводима с минимален брой *ad hock* допускания. Тя предоставя за повърхността на полупроводниковите структури в динамичен режим интегрална, а не локална информация за нейното състояние и качество. Изследванията са осъществени в широк температурен диапазон, включително при криогенни температури като е

изяснена ролята на екстремалните условия върху протичащите върху повърхността процеси.

Също така на основата на новите ефекти за интерфейса са предложени, моделирани, експериментално изследвани и патентовани оригинални конфигурации двуколекторни магнитотранзистори, двумерни 2D и тримерни 3D векторни магнитометри и мултисензори, които едновременно и/или последователно измерват с една и съща зона повече от един неелектричен параметър. Новите конструкции се характеризират с нестандартно висока чувствителност, температурна стабилност, максимално опростена конструкция и висока резолюция.

Иновативните методи и реализираните сензорни компоненти на основата на откритите явления в полупроводниците нямат аналог в контролно-измервателната технология. В научно-познавателен аспект закономерностите допълват и изясняват съществено нови страни на вече известни, станали класически механизми като ефектът на Хол. Тяхната приложимост е в такива актуални области като: твърдотелната и полупроводниковата електроника, включително микро- и нано-електрониката; квантовата оптика и комуникация; изследвания на процесите и явленията, протичащи на повърхността на кристалните структури, проводящите материали и на границата полупроводник-диелектрик и полупроводник-метал; метрологията; производството на интегрални и тънкослойни схеми и елементи; биомедицинските изследвания в това число роботизираната и минимално-инвазивната хирургия; материалознанието, дефектоскопията и специализираната металургия; индикатори за заключване вратите на автомобилите и особено в ABS системите; безконтактните цифрови електромери с дистанционно отчитане на показанията; системите с изкуствен интелект за ориентация на роботите в равнината и пространството; в климатиците за управление на скоростта на въртене; навигацията; контратероризма и детекцията на вещества с двойно предназначение, и др.

Като последствие на проекта, екипът ще продължи да изследва особеностите на новоткритите явления като ще бъдат привлечени и нови докторанти. Процесът за надграждане на постигнатото ще се насочи основно за осъществяване на интелигентна измервателна система с разширени метрологични възможности за експресно определяне на качеството на силициеви и галиевоарсенидни пластини за микроелектрониката.

Резултатите от *Двата етапа* на проекта обхващат: представени за защита са **20** заявки за патенти за изобретения, **една** монография и **23** авторски публикации, от които **2** статии в списания с висок импакт-фактор – **2.739** и ранг **Q2**, **една** статия с ранг **Q4** и други **20** публикации, включително **13** доклада на престижни международни конференции, реферирани в базите данни *WoS* и *Scopus*, и **7** на международни форуми. На конференциите приносите и резултатите бяха високо оценени от колегията. Освен това в периода на проекта има **2** защитени PhD дисертации и е осъществена **една** хабилитация в доцентура на учени от екипа. Всичко това дава основание за успешното финализиране на ФНИ-темата.