

Вступ

Магнітна мікро- і наноелектроніка розвивається на основі фундаментальних фізичних явищ, що застосовуються для розроблення тонкоплівкових інтегральних магнітних приладів та елементів: магнітних дисків і стрічок, запам'ятовувальних пристроїв для зберігання інформації, магнітних голівок і датчиків різного функціонального призначення.

Практичний інтерес становлять структури зі спін-вентильним і спін-тунельним магніторезистивними ефектами, що проявляються у малих магнітних полях. Розроблення елементів на основі цих ефектів дозволить різко збільшити щільність записувальної інформації, чутливість сенсорів, а також створити нові види тонкоплівкових магніторезистивних пристроїв.

Спінтроніка – це галузь електроніки, що використовує квантові властивості спіну електронів, що характеризуються двома квантовими станами (спін-уверх, спін-вниз). Зміна орієнтації спінів відбувається за впливу високої густини струму, що проходить через надтонкі феромагнітні структури (сендвічі). Орієнтація спінів залишається незмінною, якщо джерело поляризованого струму вимикається, тому спінтронні пристрої широко використовуються у пристроях запам'ятовування інформації як генератори змінної напруги та транзистори на ефекті поля тощо.

Спінтроніка виникла на основі результатів вивчення явища спін-залежного розсіювання електронів у твердотільних приладах, що виконувалися в 1980-х роках, включаючи вивчення інжекції спін-поляризованих електронів із феромагнітного металу в звичайний метал, виконаних Джонсоном і Сілсбі в 1985 році, і відкриття в 1988 році Альбертом Фертом і Пітером Грюнбергом та їхніми коле-

гами явища гігантського магніторезистивного опору (ГМО) в мультишарах $[\text{Fe/Cr}]_n/\text{П}$ (П – підкладка). Використання напівпровідників у спінтроніці було розпочате в 1990 році у зв'язку з винаходом спінового польового транзистора Даттом і Дасом.

У тонкоплівкових структурах феромагнетик/неферомагнетик/феромагнетик виявлено спінвентильний магніторезистивний ефект, який дає змогу магнітним полем порядку 1,6 кА/м змінювати опір на 5 - 10 %. Спінтроніка вивчає явища магнітної та магнітооптичної взаємодії в металевих і напівпровідникових наногетероструктурах, динаміку та когерентні властивості спінів у конденсованих середовищах, а також квантові магнітні явища в структурах нанометрового розміру. Разом з раніше відомими магнетиками з'явилися нові, магнітні напівпровідники – речовини, у яких можна контролювати магнітні, напівпровідникові та оптичні властивості. Експериментальна техніка спінтроніки містить у собі магнітооптичну спектроскопію, атомну і скануючу мікроскопію, спектроскопію ядерного магнітного резонансу та інші методи. Хімічні, літографічні, вакуумні та молекулярно-кластерні технології дозволяють формувати різноманітні наноструктури з необхідними магнітними властивостями.

Електронні властивості напівпровідникових пристроїв визначаються гетероструктурами, квантовими стінками та надрешітками. Явище магнетизму може проявити себе при зміні товщини шарів у наносистемах шляхом магнітної взаємодії. Зокрема, клас магнітних/немагнітних багатошарових структур можна використати для формування спінового клапана, який може бути бітом у магнітному запам'ятовувальному пристрої.

Що необхідно зробити, щоб, змінюючи структуру твердого тіла, вплинути на його електронні та магнітні

властивості? Хвильова функція електронів змінюється в межах простору, порівнянної з довжиною її хвилі. Оцінку його величини можливо провести, виходячи з довжини хвилі вільного електронного Фермі-газу. Довжина хвилі зменшується зі збільшенням густини заряду. Отже, обмеження і квантові явища проявляються в напівпровідниках вже при розмірах менших ніж 200 нм, тоді як у металах вони спостерігаються при розмірах 1 - 10 нм. Довжина хвилі електронів на рівні Фермі типових металів має порядок атомних розмірів, але з урахуванням частоти коливань атомів у ґратках може бути на порядок більшою. Наскільки можливо вважати утворення одновимірного електронного стану квантованим? Електрони в наносистемах розміщуються на дискретних рівнях (у квантових станах). Для N атомних шарів (одному шару атомів приписується один рівень) у мікрооб'ємі матеріалу є N рівнів. Щоб реалізувати двовимірну поведінку електрона, повинен бути лише один енергетичний рівень поблизу рівня Фермі. Для якісної оцінки відповідної товщини матеріалу можна взяти енергію $E = k_B T$. Оскільки при кімнатній температурі $E = 0,026$ еВ можна розрахувати довжину хвилі де Бройля $\lambda = h/p = h/(2mE)^{1/2} \approx 1,23$ нм $(E/eV)^{1/2} \approx 8$ нм, що сумірне з лінійними розмірами області локалізації квантових станів.

Таким чином, у квантових пристроях при кімнатній температурі електронів у магнітних матеріалах локалізуються в області розміром декілька нанометрів. Такі малі об'єми зумовлюють вибір методів формування наноструктур, де основну роль відіграє самоорганізація ансамблів атомів, що приводить до отримання макроскопічної кількості необхідного матеріалу.