Огляд літератури

Залізо є однією з найбільш досліджених домішок перехідних металів у кремнії. Це дослідження почалося наприкінці 1950-х років з роботи Коллінза та Карлсона.Вони довели, що рівень донора, виявлений у кремнії, забрудненому залізом, справді є рівнем інтерстиціального заліза (Fei). Перші експериментальні докази реакції сполучення заліза і бору в кремнії були опубліковані Шепердом і Тернером у 1962 році.Акцепторний рівень пари залізо-бор (FeB) визначили Рейн і Глюнц до Eв-0,26 еВ. Кімерлінг і Бентон представили залежну від рівня Фермі кінетичну модель FeB,на основі пов’язаних із залізом енергетичних станів у забороненій зоні кремнію.

Розчинене залізо є одним із найпоширеніших забруднювачів кремнію, які вбивають протягом життя. У разі легування бором він може бути присутнім у вигляді міжвузлового заліза -Fei-або пари залізо-бор - FeB-, які співіснують при кімнатній температурі. Технологічне значення заліза виникає, з одного боку, через численні джерела забруднення залізом під час обробки пластин, а з іншого боку, через шкідливий вплив обох конфігурацій дефектів на продуктивність пристрою навіть при дуже низьких концентраціях. У технології кремнієвих пристроїв значний інтерес до точних рекомбінаційних властивостей двох дефектних станів виникає через той факт, що найбільш чутлива методика виявлення забруднення залізом і визначення його загальної концентрації базується на кількісному аналізі добре встановленої різниці в низька рекомбінаційна сила Fei Іонів і пар FeB.Незважаючи на інтенсивні дослідження заліза в минулому, все ще існують відповідні параметри дефектів, які мають високу невизначеність.

**Виділене залізо як дефект кремнію**

**МОДЕЛЬ ПАРУВАННЯ ЗАЛІЗО-БОР**

*Традиційна модель з’єднання FeB*

авдяки високій рухливості Fei Здатні дифундувати через решітку кремнію при кімнатній температурі. Залежно від заряду Fei утворює пари з негативно іонізованими акцепторами. Утворення пари відбувається для зразка p-типу, залишеного при кімнатній температурі в темряві.У звичайній моделі FeB положення рівня Фермі визначає здатність Fei для з’єднання з акцептором: Якщо рівень Фермі розташований між Fei рівнем енергії (0,38 еВ) та рівенем енергії бору (0,045 еВ5), інтерстиціальне залізо заряджене позитивно (Feþi) і під інституційний бор негативно (BС-). Як наслідок, спаровування відбувається (рис.1(а))

Якщо рівень Фермі перевищує Fei Рівень енергії,

інтерстиціальне залізо стає нейтральним і не очікується зв'язку з В.

Очікується, що після створення пари FeB залишатимуться стабільними, доки рівень Фермі не перевищить рівень акцептора FeB при Eв-0,26 еВ.Тепер FeþБ-захоплює електрон, який нейтралізує інтерстиціальне залізо. Кулонівський атракціон i зникає і Fe0i від’єднується від B-Сі знову можна дифундують через кристал кремнію.Умова стабільності для пар FeB як функція положення рівня Фермі зображена заштрихованою областю на рис.1(b).

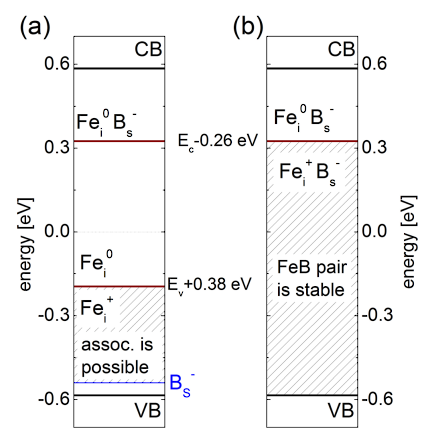


РИС. 1.

*Динамічна модель пари FeB*

Під час процесу асоціації відбувається динамічна реакція між міжвузловим залізом, електронами, дірками та бором, доки не буде досягнуто стійкий стан між дисоціацією FeB та асоціацією. Стаціонарний стан залежить від щільності допанту бору, щільності носіїв заряду та температури. Для позитивно зарядженого Fei, можливі дві реакції: у першому випадку Fei фіксує ,електрон і стає нейтральним (Fe0i). Fe0 може захопити отвір і стає Feі знову.Друга можливість – поле сприяє міграції Fei До негативно зарядженого замісного бора B- внаслідок кулонівського притягання і FеіВ відбувається формування пари.Який шлях реакції Fe попередньо відбудется , залежить від його зарядового стану, концентрації носіїв заряду і атомів бору (при даній температурі).

Процес дисоціації пар FeB шляхом захоплення електронів обговорювався Кімерлінгом і Бентоном.Вони дійшли висновку, що процес захоплення електронів призводить до нейтралізації Feі , що призводить до знімання кулонівської сили між Fe0i та Бором . Проте цієї нейтралізації недостатньо , аби призвести до просторової дислокації при кімнатній температурі , бо експериментально дифузійний барьер було виявлено E = 0.8еВ.

**Визначення енергії активації асоціації акцепторної пари заліза і реакція дисоціації**

Спостереження асоціації акцепторної пари заліза в кремнії n-типу та під освітленням з електронним квазірівнем Фермі вище межвузлового енергетичного рівня заліза призвело до розширення моделі спарювання залізо-акцептор Кімерлінга та Бентона . динамічним підходом . Причина неточності моделі Кімерлінга та Бентона полягає в тому, що квазірівні Фермі можуть бути використані для опису розподілу носіїв у нерівноважній забороненій зоні лише в обмежених випадках . Інтерстиціальна заліза не відноситься до цих обмежених випадків.

Реакція пари акцепторів заліза контролюється за допомогою вимірювань часу життя носіїв заряду. Досліджено зразки, леговані бором. Швидкості реакції дисоціації, а також реакції асоціації отримують із розв’язку рівняння швидкості, припускаючи кінетику першого порядку рівноважних реакцій. Щоб отримати енергію активації, вимірюють повернення інтерстиціального заліза з повністю дисоційованого стану до рівноваги при змінній температурі.У результаті підходу динамічної моделі до опису кінетики акцепторної пари заліза реакція асоціації та дисоціації акцепторної пари заліза відбувається одночасно. У цьому внеску представлено та застосовано метод вимірювання швидкості реакції асоціації та дисоціації акцепторної пари заліза. Швидкість реакції вимірюється для акцепторів бору.Виявлено, що енергія активації реакції асоціації різна для досліджуваних акцепторів, що є натяком на те, що енергія зв’язку акцепторних пар заліза має складову, пов’язану з типом акцептора. Енергія активації реакції дисоціації сильно залежить від інтенсивності освітлення.

**Електричні властивості Fei дефектів**

Міжвузлове розчинене залізо утворює два зарядові стани, нейтральний і позитивно заряджений стан, які створюють єдиний донорний рівень у нижній половині забороненої зони.У численних дослідженнях з використанням DLTS, ефекту Холла та електронного парамагнітного резонансу -EPR- рівень його енергії послідовно визначався як Et−EВ= -0,385±0,010-еВ.Дослідження DLTS показали, що захоплення дірок термічно активується за допомогою бар’єрної енергії E-= -0,045±0,005-еВ,що підтверджено різними авторами. Це чітко вказує на те, що отвори захоплюються Fe0i центру через багатофотонне випромінювання .

**Електричні властивості дефекту FeB**

Пара FeB у кремнії утворює три зарядові стани — нейтральний, позитивно та негативно заряджений стан, які породжують до мілкого донорського рівню поблизу краю валентної зони і глибоко акцепторний рівеню поблизу краю зони провідності. У той час як донорський рівень, як відомо, розташований як Et−EВ=0,1 еВ, акцепторний рівень визначено в середньому при EC−Et= -0,26±0,03 еВ.Кілька спектроскопічних дослідженьний рівень як домінуючий центр рекомбінації.

**Перетворення дефекту та додатковий відбиток заліза в кремнії**

Як дві дефектні конфігурації заліза Fei і FeB метастабільні, дослідження їх властивостей рекомбінації вимагає детального знання перетворення дефекту між двома станами. Це добре відомо ,що дисоціація пар FeB може бути індукована термічно 150 °C, оптично або за допомогою інжекції неосновних носіїв, тоді як парна асоціація вимагає релаксації зразка в темряві при температурах значно нижчих 100 °C. Щоб визначити оптимальні умови вимірювання та попередню обробку для TDLS та IDLS дослідження Fei дефекти FeB, відповідно, треба ретельно вивчити вплив температури та освітлення на час життя інжекційних і залежних від температури носіїв.