УДК 535.343.2:537

ДЕФЕКТИ АКЦЕПТОРНОЇ ПРИРОДИ В ПІДГРАТКАХ КИСНЮ ГРАНАТОВИХ СТРУКТУР

Канівченко О.В.

Гранатові структури широко застосовуються в мікро-, квантовій та оптоелектроніці, оскільки наділені цілим рядом особливих фізичних властивостей, зокрема - можливістю зміни оптичних характеристик залежно від складу, температури, магнітного поля та інших зовнішніх факторів, що обумовлено електронною структурою таких напівпровідників.

Особливе зацікавлення викликає вивчення змін магнітооптичних властивостей кристалів і плівок структури граната, вирощених на основі складних оксидів, під впливом зовнішніх дій, оскільки можливість створення матеріалів з заданими властивостями в даний момент є одним з перспективних напрямів розвитку фізики напівпровідників як у науковому, так і в прикладному аспектах.

Досліджувані структури граната: кристали АІГ ($Y_3Al_5O_{12}$), ГГГ ($Gd_3Ga_5O_{12}$), ЗІГ ($Y_3Fe_5O_{12}$) були вирощувані методом Чохральського з розплаву у вакуумі, при постійній температурі кристалізації та швидкості зростання від 2 мм/ годину до 4 мм/годину.

Концентрація домішок у шихті іонів Ce^{3+} від 0,05 % до 2,5 %, а іонів Nd^{3+} і Tb^{3+} від 1 % до 4 %

Початкові реактиви Al_2O_3 розкладу квасців марки ОС Ч 7, Nd_2O_3 марки Ит-МГр НО -СС.

Ферит-гранатові плівки $(Y,Bi)_3(Fe,Ga)_5O_{12}$; $Bi_3(Fe,Ga)_5O_{12}$; $(Y,Bi,Tm)_3(Fe,Ga)_5O_{12}$ були отримані методом вирощування з розчину- розплаву PbO ;(PbF_2) B_2O_3 ; PbO-B_2O, де підкладинка із $Gd_3Ga_5O_{12}$ у напрямку (111) при температурі 1130 К.

Методика експерименту полягає в реєстрації оптичних спектрів поглинання і спектрів Фарадеївського обертання, які проводилися на двопроменевих спектрофотометрах SPECORD M 40 (ультрафіолетовий діапазон 50000 - 11000 $см^{-1}$, або 200 - 909 нм) і SPECORD M 80 (інфрачервоний діапазон 4000 - 200 $см^{-1}$, або 2500 -50000 нм).

Відпал проводився на повітрі в печі електроопору в діапазоні температур 650 -1200 ^{0}С. Опромінювання проходило при кімнатній температурі радіоактивними ізотопами Cs^{137} дозою 10^2 - 10^8 Р. Величина магнітного поля в процесі намагнічування складала від 50 Е до 20 кЕ

У роботі було поставлено експеримент з виявлення впливу γ- випромінювання на зміни оптичної густини структур типу граната. Після опромінювання виникають додаткові центри поглинання А, В, С на довжинах хвиль 227 нм, 260 нм, 320 нм, котрі вказують на утворення радіаційних центрів забарвлення (рис.1).

Наявність рідкоземельної домішки створює додаткові центри захоплення, наприклад, іони Ce^{3+} є пастками для дірок, тому що легко переходять у чотирьохвалентні іони, внаслідок чого виникає надмірна кількість електронних центрів. Для Nd^{3+} найбільш імовірний перехід у двовалентний, внаслідок чого неодим стає пасткою для електронів. Одночасна присутність декількох видів домішкових атомів робить картину утворення центрів забарвлення більш складною. Вплив домішки на зміну оптичної густини під дією γ- випромінювання проявляється у тому, що радіаційна стійкість обернено пропорційна кількості домішки, чим більше різнорідних видів домішкових іонів, тим менша радіаційна стійкість гранатових структур.

Дослідження впливу відпалу на опромінені гранатові структури дозволяє зробити висновок про природу виникнення цих центрів і запропонувати модель електронних переходів.

Схематичне зображення енергетичної зонної структури ЗІГ з домішками, згідно з моделлю Landolt-Bornstein, (1), та створення радіаційних центрів, як можливість електронних переходів між валентною зоною підгратки іонів кисню та акцепторними рівнями O^+ та O^{2+} демонструється рисунком 2.

Смуги поглинання гранатових структур ЗІГ, які експериментально спостерігалися, свідчать про переходи з енергією 3,86 еВ ; 4,754 еВ; 5,445 еВ. Такі переходи можливо спостерігати при значній концентрації центрів поглинання та досить великої ймовірності поглинання.

Так як у процесі експерименту гранатові структури піддавалися впливу магнітного поля (меньше 0.0001 еВ) і високотемпературному відпалу (0,025 еВ), що є недостатнім для збільшення концентрації центрів поглинання, логічно зробити припущення про збільшення ймовірності поглинання.

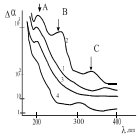


Рис1. - Спектри поглинання ЗІГ в УФ діапазоні., де 1- початковий спектр поглинання,
2- опромінений дозою 10^7 Р
3-відпалений при Т=950 К
4-намагнічений постійним магнітним полем 10 кЕ

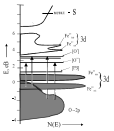


Рис.2. Схематичне зображення енергетичної зонної структури ЗІГ, та ймовірні електронні переходи.

Імовірність поглинання активним центром, що знаходиться у вузлі типу I, записується у феноменологічній формі:

$$w_{oct} = A\,(1+ B\cos^2\alpha_i)\,(1+ C\cos^2\beta_i)$$

де α_i і β_i - кути між локальною віссю симетрії вузла I та напрямами поляризації світла E і намагніченості M, відповідно, A, B,C - константи. Враховуючи, що кут α для E [111], у нашому випадку дорівнює 0, а основний вклад у швидкість імовірності перерозподілу населеності цих центрів вносить кут β, який визначається напрямком M [111], можна зробити висновок про створення додаткових енергетичних переходів, пов'язаних з утворенням магніточутливих центрів.

Виявлено вплив зовнішнього постійного магнітного поля на коефіцієнт поглинання кристалічної плівки ЗІГ в області енергій кванта світла, які відповідають енергіям міжзонних переходів підгратки іонів заліза, який може бути реалізований внаслідок опромінення ферит-гранатових плівок γ- квантами і наступного високотемпературного відпалу. За цих умов утворюються радіаційні дефекти на рівні іонів кисню і заліза двухвалентного, які є новими, порівняно з початковою плівкою, магнітоактивними центрами. При накладанні зовнішнього магнітного поля величиною 20 кЕ оптична густина в області енергій квантів світла, відповідних до міжзонних переходів підгратки заліза зменшується на величину до 40 % (в 2,5 раза). Цей магнітооптичний ефект є оборотним, а величина оптичної густини плівки відновлюється при накладанні зовнішнього змінного поля, що пов'язано з розупорядкуванням цим змінним магнітним полем магнітних моментів, створених при опроміненні γ- квантами і високотемпературному відпалі нових магнітних дефектів.

У роботі було досліджено спільний вплив γ- випромінювання і високотемпературного відпалу на зміну коефіцієнта прозорості ферит-гранатової плівки під дією магнітного поля. Ві-містку ферит-гранатову плівку піддавали опроміненню дозою 10^2 - 10^8 Р, високотемпературному відпалу на повітрі при Т = 950 К і намагнічували в діапазоні від 400 А/м до 1600 А/м, просвічували УФ у діапазоні 200-500 нм. При цьому коефіцієнт прозорості обробленої плівки ставав на 10% - 40% більшим.

Це пояснюється посиленням ефекту Фарадея, який відбувається за рахунок більшої спін-орбітальної взаємодії іонів Ві та кисню, котрі під дією γ- випромінювання за рахунок змішування 6р-орбіталей іонів Ві й 2р-орбіталей іонів кисню підсилюють магнітнооптичне обертання. Причому, змішування 6р-орбіталей іонов вісмута з 2р-орбіталями кисню збільшує спін-орбітальний зв'язок, відповідальний за розщеплення рівнів іонів заліза. Роль відпалювання в цьому експерименті зводиться до знищення радіаційних центрів, котрі призводять до зменшення оптичної густини. При цьому під дією магнітного поля відбувається переорієнтація магнітної підсистеми ферит-гранатової плівки, внаслідок чого на ступінь збільшується магніточувствливість в УФ діапазоні.

ЛІТЕРАТУРА

1.Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York(1978),p. 418.