ЛАЗЕРНЕ СТИМУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КРИСТАЛАХ CdSb ТА In_4Se_3

М. О. Сорокатий, к. ф.-м. н. В. М. Стребежев, к. ф.-м. н. І. М. Юрійчук, д. х. н. Ю. Б. Халавка

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Україна, м. Чернівці
m.sorokatyi@chnu.edu.ua

Досліджено процеси лазерної модифікації тонкоплівкових інтерференційних фільтрів та епітаксійних гетероструктур, створених на кристалах CdSb та In_4Se_3. Вивчено умови фотонної корекції структури й оптичних та фотоелектричних спектральних характеристик цих елементів.

Ключові слова: лазер, кристали, епітаксія, гетероструктура, корекція, фільтри.

Тонкоплівкові багатошарові інтерференційні фільтри широко застосовуються для селекції електромагнітних хвиль, зокрема в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектра. Ширина смуги блокування випромінювання та положення граничної довжини хвилі $\lambda_{гр}$ відрізного фільтра визначається будовою мультишару з плівок із низьким та високим показниками заломлення, які мають значно розрізнятися для досягнення оптимальних характеристик.

Основною метою цієї роботи є дослідження процесів лазерної модифікації та оптимізації структури, а також властивостей оптичних та фотоелектричних елементів ІЧ-діапазону на основі кристалів CdSb та In_4Se_3.

Для дослідження прозорих у середній ІЧ-області кристалів CdSb відрізні інтерференційні фільтри створювалися із застосуванням плівкових систем SiO/Ge, які наносили електронно-променевим напилюванням у вакуумі $\approx 5\cdot10^{-6}$ тор. Для розширення області високовідбиваючих дзеркал проєктувалися мультишари, що складаються з двох багатошарових плівкових систем, з оптичною товщиною плівок $\lambda'/4$ та $\lambda''/4$, налаштованих на різну довжину світла максимального пропускання (λ' та λ'').

Значного поліпшення параметрів спектральної характеристики відрізних фільтрів можна добитися включенням до плівкового мультишару шарів з оптичною товщиною, що не дорівнює $\lambda/4$, переважно це кілька шарів (або навіть один), які межують із підкладкою та з повітрям. Оскільки показник заломлення плівок в приповерхневій області може змінюватися відповідно до зміни структури плівки, проводилася лазерна обробка інтерференційних фільтрів з системами плівок SiO/Ge на підкладці CdSb. Були використані мілісекундні лазери, рубіновий з $\lambda_0 = 0{,}69$ мкм та лазер на кристалі YAG з $\lambda_0 = 1{,}06$ мкм. Складові фільтра — плівки SiO є прозорими для цих довжин хвиль, а плівки Ge — поглинальними, особливо на $\lambda_0 = 0{,}69$ мкм. При дії лазерних імпульсів з критичною енергією $E = 0{,}5$—$0{,}8$ Дж/см^2 на плівку Ge методами атомно-силової мікроскопії та електронографії було встановлено зростання величини зерен та зміну їх орієнтації переважно на (111) від початкових орієнтацій (100) та (110). Трансформація структури плівок Ge в верхніх шарах інтерференційного мультишару призводила до змін у спектральних характеристиках фільтрів, що можна використати у процесах їх оптимізації.

На рис. 1 показано спектральні характеристики фільтрів, оптимізованих опроміненням лазером з $\lambda_0 = 1{,}06$ мкм в режимі $E = 0{,}7$ Дж/см^2, 8 імпульсів, $\tau = 1{,}5$ мс. Після лазерної обробки спектральні криві зміщуються в бік коротких довжин хвиль, середнє пропускання зростає в робочому діапазоні, також зменшується чутливість кривих до кута падіння світла. Потрібно зазначити, що процеси лазерної рекристалізації полікристалічних плівок Ge та SiO, які після напилювання знаходяться у значно

нерівноважному стані, призводять також до зниження внутрішніх напруг в плівках і поліпшенню їхньої адгезії, механічної міцності, надійності плівкової системи фільтра.

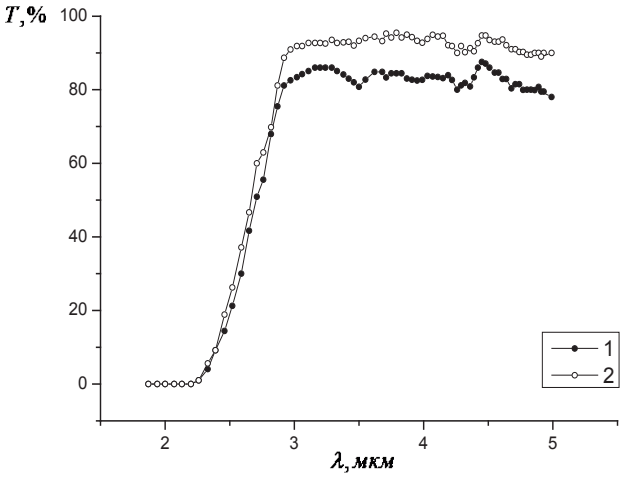

Рис. 1. Спектральні характеристики пропускання відрізних фільтрів з систем плівок SiO/Ge на кристалі CdSb до лазерної обробки (*1*) та після неї (*2*)

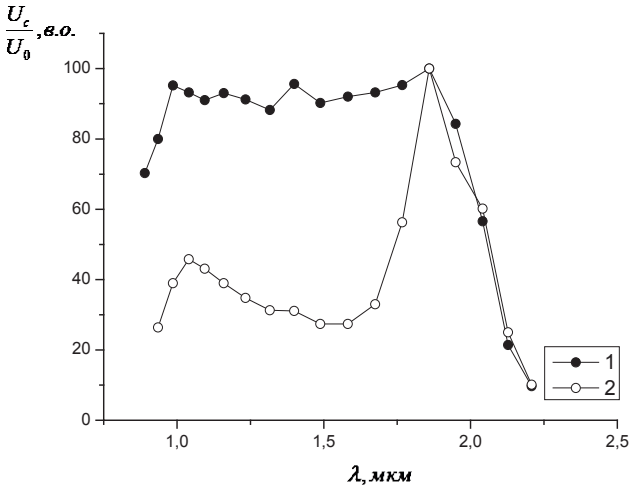

Рис. 2. Спектральні залежності фоточутливості епітаксійної структури на основі In_4Se_3 до лазерної обробки (*1*) та після неї (*2*)

Досліджували також епітаксійні фоточутливі гетероструктури, які створювалися методом рідинно-фазної епітаксії на підкладках з кристалів CdSb та In_4Se_3. У цьому випадку з метою підвищення фоточутливості гетероструктур та збільшення відповідного спектрального інтервалу проводилася лазерна обробка з боку епітаксійного шару товщиною 30—35 мкм. Шари *n*-In_4Se_3 були леговані домішкою 0,2% Te, контакти на них створювалися пайкою In на плівку Cu та екранувалися. В області впливу лазерного променя основними факторами модифікації гетероструктури є температурне поле, температурні градієнти та процеси теплопровідності. Дослідження методами атомно-силової та растрової електронної мікроскопії показало, що при оптимізації цих факторів і режимів лазерної обробки, досягається більший ступінь монокристалічності й планарності епітаксійних шарів In_4Se_3, а також звужується ширина перехідної області на металургійній межі гетероструктури.

На рис. 2 показано зростання сигналу фоточутливості після лазерної обробки з густиною енергії E = 0,5 Дж/см^2 гетеропереходу на основі шарів In_4Se_3 в області довжини хвиль $\Delta\lambda$ = 1—2 мкм. Механізмами реалізації структурних перетворень в процесі лазерної обробки є дифузійний масообмін між кристалітами менших розмірів та утворення через їх об'єднання великих монокристалічних блоків, що також супроводжується релаксацією систем дефектів та преципітатів на гетеромежі, зменшуючи вплив рекомбінації.

M. O. Sorokatyi, V. M. Strebezhev, I. M. Yuriychuk, Yu. B. Halavka

Laser stimulation of optical element formation on CdSb and In_4Se_3 crystals

The authors investigate the processes of laser modification of thin-film interference filters and epitaxial heterostructures created on the CdSb and In_4Se_3 crystals. The conditions of photonic correction of the structures and optical and photoelectric spectral characteristics of these elements are studied.

Key words: laser, crystals, epitaxy, heterostructure, correction, filters.