

© 2000р. В.М. Стребезев, І.М. Раренко, С.М. Куликовська,
С.Г. Дремлюженко

Чернівецький державний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

ВПЛИВ УМОВ ОТРИМАННЯ НА СТАБІЛЬНІСТЬ БАГАТОШАРОВИХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА БАЗІ CdSb

Досліджено умови отримання стабільних при низьких температурах інтерференційно-абсорбційних ІЧ-фільтрів на монокристалічній підкладці з CdSb.

The conditions for obtaining of stable at low temperatures interference-absorptive IR-filters on CdSb single crystal substrate are investigated.

Для застосування в ІЧ-техніці актуальним є отримання багатошарових фільтрів на підкладках різних напівпровідникових матеріалів, які відіграють роль абсорбційних фільтрів і розширюють інтервал фонового пригнічення. З цією метою нами запропоновані інтерференційні фільтри на базі монокристалів CdSb з граничною довжиною хвилі $\lambda_{\text{гр}}=2,5$ і $\lambda_{\text{гр}}=3,9$ мкм. Водночас, з огляду на режим роботи матриці фотоприймачів, відповідних фільтрам, від останніх часто вимагається кріостійкість.

Створення фільтра, що працює при знижених температурах, вимагає особливої міцності пліткових покриттів і конструкції загалом. Задача отримання стабільних механічно і за спектральними характеристиками фільтрів розв'язували вже на стадії розрахунків інтерференційного покриття. Вибір матеріалу підкладки та інтерференційного покриття визначає спектральні й експлуатаційні характеристики фільтра [1].

Були підібрані оптимальні пари матеріалів пліткових покриттів і проведені розрахунки, що забезпечували задані спектральні характеристики фільтра при мінімально можливій кількості напилених шарів.

Технологічні режими виготовлення фільтрів коректували так, щоб зменшити основні причини деградації пліткових покриттів: внутрішні напруження, пористість плівок, адсорбування вологи у порах.

В якості підкладок для інтерференційних фільтрів нами вперше застосований CdSb високої структурної досконалості. Це напівпровідниковий матеріал з граничною довжиною хвилі в об-

хвилі в області поглинання $\lambda_{\text{гр}}=2,5$ мкм, що має високий коефіцієнт заломлення $n=4,3\div 5,5$, і теплопровідність $\chi=(1,1\div 1,2)\cdot 10^{-2}$ Вт/(см·К). Мале значення χ для CdSb забезпечує перевагу у фотоприймальних пристроях, в яких необхідно зменшити теплове навантаження на холодильник з боку фотоприймальної площадки.

Розроблені нами фільтруючі покриття для CdSb, мають специфічну особливість у конструкції – наявність не одного, а двох матеріалів з низьким показником заломлення у стопі: монооксид силіцію SiO і сульфід цинку ZnS.

Для фільтрів на CdSb з ряду плівкоутворюючих матеріалів вибрана пара з високим і низьким показником заломлення: Ge, SiO.

Оптимізація оптичних характеристик фільтра досягається при включенні двох шарів ZnS – першого від підкладки, і останнього, що закриває стопу на границі з повітрям. Спектральні характеристики фільтрів наведені на рис.1. Така конструкція поліпшує стабільність фільтра, оскільки для плівок ZnS пористість менш характерна, вони мають щільноупаковану полікристалічну структуру [2].

Для зменшення пористості плівок, яка у великій мірі визначає надійність і тривалість експлуатації інтерференційних покриттів, були вжиті у технологічному процесі такі заходи:

1. Ретельне попереднє очищення й усунення шорсткості підкладок CdSb хіміко-механічним поліруванням (ХМП).

ХМП проводили композиціями колоїдного кремнезему. Швидкість травлення для отримання дзеркальної поверхні становила 0,2-0,5 мкм/хв.

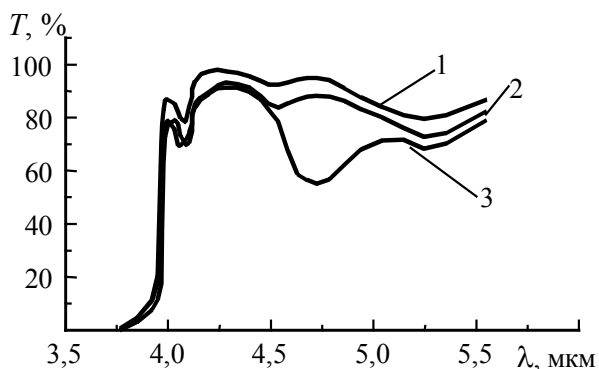


Рис.1 Спектральні характеристики пропускання інтерференційного фільтра на підкладці з CdSb: розрахункова (1), експериментальна (2), після 5 років зберігання (3).

Перевага цього методу перед механічним і хімічним поліруванням полягає в тому, що відсутні подряпини (характерні для механічного полірування), нерівності рельєфу висотою до декілька мікрон (хімічне полірування). Все це виключається за рахунок одночасного проходження процесів окислення і полірування, оскільки мілкодисперсний аміноетоксіяеросил виконує одразу дві функції – м'яких абразивних порошоків і комплексоутворювача, що усуває продукти окислення із зони реакції [3];

2. Іонне травлення безпосередньо перед напиленням плівок, прогрівання підкладок до 473K дозволяє вилучити з них адсорбовані поверхнею CdSb органічні речовини і гази.

3. Проведення технологічного процесу у вакуумі не нижче за $1 \cdot 10^{-6}$ торр і висока швидкість конденсації плівкоутворюючих матеріалів.

4. Повільне, зі швидкістю 0,5-1 K/хв, протягом 5 годин охолодження фільтрів у високому вакуумі після напилення. Повільним охолодженням забезпечувалося також зниження внутрішніх напружень у стопі, викликаних відмінністю коефіцієнтів розширення шарів і підкладки, неоднорідною щільністю окремих дільниць шарів, їх реакціями із залишковими газами.

При самоохолодженні всієї установки, відразу після завершення процесу напилення, на поверхні готових фільтрів спостерігалися мікроділянки відшарування у вигляді сітки здуття. Таке швидке охолодження приводить до виникнення значних внутрішніх напружень у покриттях, які залежать також і від швидкості напилення. У шарах ZnS при повільному напиленні виникають розтягуючі напруження. Збільшення швидкості осадження знімає напруження у плівках ZnS, а у шарах SiO напруження змінюються від розтягуючих до стискуючих [2]. Використання в техно-

логії заходів, указаних вище, в тому числі відпал готових фільтрів у високому вакуумі у процесі повільного охолодження, веде до зменшення пористості плівок і зниження та взаємної компенсації напружень у стопі [4].

Дослідження морфології поверхні плівок проводили на електронному растровому мікроскопі РЕМ-100У, при напрузі 15 кВ і струмі електронного зонду 10^{-11} А, зі збільшенням до 10000 разів. Для зняття електростатичного заряду з діелектричних плівок SiO і ZnS застосовували напилення на них провідного покриття з карбону й срібла.

Плівки з пористою структурою одержували на етапі відпрацювання технології при низьких (до 400K) температурах підкладки та при підготовці поверхні їх механічним поліруванням. Вони характеризувалися неміцністю, невідповідністю одержаних спектральних характеристик розрахунковим, зокрема, звужувався інтервал фонового пригнічення. Добитися стабілізації властивостей фільтрів вдалося оптимізацією очистки підкладок (ХМП, іонне травлення) і температурних режимів процесу. При цьому спостерігали поліпшення морфології поверхні плівок складників фільтра (рис.2).

Конструктивно багатоканальний світлофільтр – матриця з фільтрів необхідних діапазонів геометрично відповідній матриці фотоприймачів. Як діафрагму, яка задає геометрію світлових зон, використовували металізуюче покриття відповідної форми.

У зв'язку з цим нами були відпрацьовані два способи нанесення металізуючих покриттів і визначена їх сумісність з шарами інтерференційного покриття, а також загальна міцність конструкції.

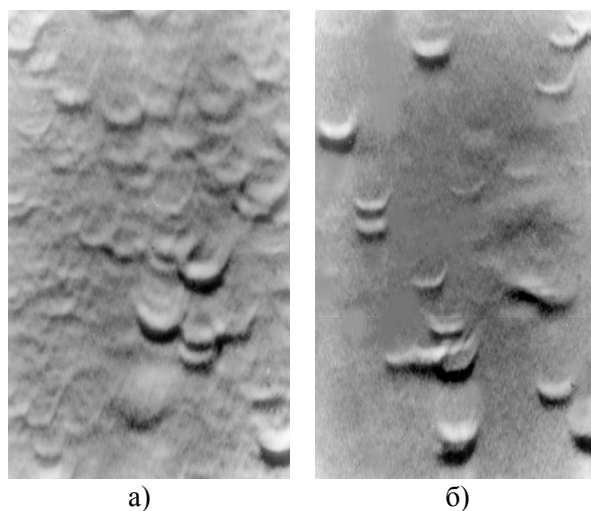


Рис.2 Морфологія поверхні плівок фільтра при підготовці підкладки: механічне полірування (а), ХМП (б).

Першим випробуваним способом нанесення металізуючого покриття був застосований метод осадження срібла з неціаністого електроліту. Для цього методом фотолітографії були сформовані вікна заданої форми, в які електролітично осаджували срібло. Швидкість осадження металу була в межах 10 ± 20 мкм/год, а вихід по струму $90 \pm 100\%$. Після завершення процесу сріблення залишки фоторезиста, що закривають світлові зони, змивали у розчині луку і промивали деіонізованою водою.

Покриття зі срібла характеризувалися рівномірністю, відсутністю ділянок відшарування або злущення, доброю сумісністю з матеріалом інтерференційних шарів. Однак цей метод має ряд істотних недоліків:

- забруднення оптичних вікон органічними речовинами (фоторезистом);
- трудністю нанесення малюнка при формуванні його з двох сторін. (Витримати оптимальні умови фотолітографії одночасно з двох сторін підкладки дуже складно і практично неможливо).

Тому нами відпрацьований метод металізації напиленням у високому вакуумі плівок різних металів на підкладку з CdSb. Металеве покриття напиляли через суміщені з двох сторін підкладки маски, зафіксовані на ній спеціальними пристроями. Як матеріали для металізуючих покриттів були перевірені Ti, Al. Доброю сумісністю з підкладкою і плівками стопи зарекомендувало металізуюче покриття з алюмінію. Товщина плівки Al становила $0,06 \pm 0,08$ мкм.

Стійкість фільтрів до перепадів температур перевіряли термоциклованням в інтервалі температур 77 ± 373 К у режимі термоудару, кількість термоциклів – 1000. Після термоцикловання на поверхні покриттів не спостерігалось ділянок деградації, спектральні характеристики змінювалися не значно. Те ж відноситься до фільтрів після двох років зберігання у звичайних умовах на повітрі.

Більш істотні зміни у спектральній характеристиці отримані після 5 років зберігання (рис. 1). У цьому випадку при збереженні положення $\lambda_{\text{гр}}$ і крутизни границі відрізання фільтра, знижується пропускання у довгохвильовій області робочого діапазону. Це можна пояснити ефектами старіння плівок – складових фільтра, розмиттям границь між плівками з високим і низьким показниками заломлення через взаємодифузії матеріалів.

Можливо зробити висновок, що підбором матеріалів для фільтра, оптимізацією його конструкції і технологічних режимів, удалося отримати стійкі у широкому діапазоні температур, механічно міцні, стабільні протягом багатьох років по відношенню до процесів старіння у плівках, двохканальні відрізаючі фільтри на CdSb.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dremlyuzhenko S.G, Konopaltseva L.I, Kulikovskaya S.M, Stetsko Yu.P, Strebezhev V.N, Rarenko A.I, Ostapov S.E Interference IR-filters on the CdSb monocrystal substrates // SPIE.- 1999. - **3890**. - P.104-110.
2. Беляева А.И, Сиренко В.А. Криогенные многослойные покрытия. - Киев: Наукова думка, 1991.
3. Раренко И.М, Куликовская С.М, Стребезев В.Н, Дремлюженко С.Г, Крылюк О.Н, Раренко А.И, Кшевецкий С.А. Влияние обработки поверхности на фоточувствительность CdSb и p-n структур на его основе // Тез.доп. IV Міжнародної конференції з фізики і технології тонких плівок. - Івано-Франківськ, 1993. - Ч.2. - С.138.
4. Беляева А.И, Марушко С.Н, Храпцова В.И, Яровая Р.Г. Криоустойчивые базовые многослойные покрытия для инфракрасного диапазона // Криогенное материаловедение. - Киев: Наукова думка, 1991. - С.42-48.