

ХАРКІВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІВ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

На правах рукопису

БУРАК

МАРІЯ МИХАЙЛІВНА

Розробка інфрачервоного джерела випромінювання
на основі тонкоплівкових композицій телуриду
кадмію-селеніду кадмію, селеніду індію, активно-
ваних германієм

05.09.07 - Світлотехніка і джерела світла

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1994

Інститут інженерів
міського господарства
Харків

Дисертація є рукопис

Робота виконана на Львівському виробничому об'єднанні "Іскра".

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, професор Миколайчук О.Г.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Ільїна Наталя Олександрівна
2. Кандидат технічних наук, доцент Гаврілов Павло Васильович

Провідна організація - Український науково-дослідний інститут джерел світла, Мінмашпром.

Захист відбудеться "10" серпня 1994 р.

на засіданні спеціалізованої Ради К06851.01 при Харківському інституті інженерів міського господарства / 310002, м.Харків, вул. Революції, 12/.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Харківського інституту інженерів міського господарства (310002, м.Харків, вул.Революції, 12).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, засвідчені печаткою, просим надсилати за адресою: 310002, м.Харків, вул.Революції, 12.

Автореферат розіслано "27" квітня 1994 року

Вчений секретар
спеціалізованої Ради К06851.01

Дьяков Е.Д.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00801831 (L)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

AB-29.870

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми полягає в розробці неіснуючого до теперішнього часу ефективного джерела випромінювання з підвищеним КПД в ближній ІЧ області спектру.

Розробка спеціальних джерел світла в ближній ІЧ області спектру проводиться шляхом модифікації нитки розжарення як теплових, так і газорозрядних ламп, та корегування спектру випромінювання існуючих джерел світла з допомогою фільтрів.

Для виготовлення фільтрів і фотоприймачів використовуються відомі напівпровідникові сполуки $A'' B''$ і $A''' B'''$, які, крім фоточутливості, мають добру прозорість в ІЧ області спектру. Для тонкоплівкових фільтрів були вибрані сполуки CdTe, CdSe, InSe, Ge та композиції на їх основі.

Разом з тим, в літературі відсутні систематичні дані по дослідженню фізичних і, зокрема, оптичних параметрів, композиційних плівок на основі цих матеріалів та їх характеристики, технології одержання і термообробки. Такі дослідження є актуальними, оскільки у CdTe і CdSe в залежності від умов напilenня утворюються кристаліти гексагональної або кубічної модифікацій, в InSe і композиційних матеріалах фазовий склад плівок є ще складнішим. Фазовий склад і величина кристалів залежить і від термообробки. Тому для CdTe, CdSe, InSe, активованих Ge, і їх композицій був виконаний цикл досліджень по вивченню фізичних властивостей конденсатів та створенню фільтрів на їх основі, які мають максимальне пропускання у ближній ІЧ області спектру.

Мета роботи - створення джерел випромінювання в ближній ІЧ області спектру шляхом розробки фільтрів з максимальним коефіцієнтом пропускання в цій області.

Для досягнення мети необхідно:

1. Розробити технологію нанесення тонких напівпровідникових плівок і їх композицій з відповідними параметрами.
2. Розробити і змонтувати спеціальні пристрої в установці вакуумного напilenня для отримання рівномірних по товщині плівок.

3. Дослідити залежності енергії активації рекристалізації, ширини забороненої зони плівок від хімічного складу і режимів відпалу в різних газових середовищах.

4. Дослідити залежності оптичних спектрів пропускання, відбивання і поглинання тонких плівок на скляній підкладці від зміни технологічних режимів: температури підкладки, температури відпалу, часу витримки, газового середовища, товщини плівки.

5. Визначити залежність коефіцієнта заломлення n для тонких напівпровідникових плівок і їх композицій від температури підкладки і температури відпалу в різних газових середовищах.

6. На основі проведених досліджень запропонувати технологію і матеріали для виготовлення фільтрів в ІЧ області спектру.

Об'єктами досліджень були тонкі плівки CdTe, CdSe, InSe і їх композиції $CdTe_xSe_{1-x}$ ($0,0 \leq x \leq 1,0$), активовані Ge.

Наукова новизна. На основі вивчення оптичних характеристик вперше розроблений термостійкий фільтр, прозорий в ІЧ області спектру.

Вперше для твердих розчинів визначена енергія активації рекристалізації, на основі чого запропоновані режими відпалу плівок в різних газових середовищах.

Вперше для плівок CdTe - CdSe показана залежність ширини забороненої зони від хімічного складу і температури відпалу.

Практичне застосування. Вперше створено ІЧ джерело випромінювання для зв'язку в нічних умовах з використанням ІЧ фільтру /А.С.1279464, А.С.1619965/.

Показана можливість застосування методу математичного моделювання для одержання плівок з оптимальними параметрами.

На захист виносяться:

1. Технологія одержання тонкоплівкових покриттів і створення на їх основі фільтрів, прозорих в ІЧ області спектру.

2. Залежність фізичних параметрів фільтрів (τ , R , n , k , E_g) від технології обробки та хімічного складу.

3. Вплив технологічних параметрів на стабільність фільтра.

4. ІЧ джерело випромінювання.

Апробація роботи. Основні результати даної роботи доповідалися і обговорювалися на: I Всесоюзній школі по термодинаміці

і технології напівпровідникових кристалів і плівок (м.Івано-Франківськ, 1986р.); IV Міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок (м.Івано-Франківськ, 1993р.); конференції молодих вчених і спеціалістів фізичного факультету Львівського державного університету, присвяченій 40 - річчю факультету (м.Львів, 1993р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 18 робіт і отримано 7 авторських свідоцтв.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів і висновків, має 131 сторінку машинописного тексту, включаючи 71 рисунок, 4 таблиці і список літератури із 75 назв.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розглянуті основні параметри існуючих джерел світла, описані шляхи їх створення. Висвітлено питання використання напівпровідникових тонкопліткових покриттів при роботі ІЧ фільтрів. Описані методи здійснення зв'язку земля-земля і земля-повітря при використанні спеціальних джерел світла і застосуванні фільтрів в якості розсіювача лампи-фари.

У першому розділі дисертації на основі аналізу літературних даних розглянуті відомості про методи отримання тонких плівок CdTe, CdSe, InSe і їх структурні модифікації. Показана залежність структури плівок від методів їх отримання. Для CdTe або CdSe властиві гексагональна або кубічна структура. Для InSe встановлено три модифікації: Jn Se - ромбічна структура, InSe - ромбоедрична гратка, Jn Se - високотемпературна, імовірно, гексагональна гратка.

Приведені дані по залежності коефіцієнтів заломлення n і поглинання k від довжини хвилі. Зокрема, аналіз даних по поглинанню в плівках CdTe показує, що ширина забороненої зони E_g , рівна 1,5 еВ, відповідає прямим переходам. Можливі і непрямі переходи, яким відповідає ширина забороненої зони 1,82 еВ.

Проведений аналіз залежності оптичних постійних n і k плівок InSe на різних етапах термообробки, з якого видно, що зростання температури відпалу супроводжується зменшенням оптичних сталих, яке найбільше проявляється в області краю власного поглинання. Це необхідно врахувати при створенні фільтрів. При осадженні дуже тонких плівок їх структура є полікристалічною. Подальший перехід такої плівки в монокристалічну здійснюється шляхом рекристалізації, і в основному цей процес проходить при укрупненні дрібних зерен, яких у плівці є дуже багато.

В огляді показана кінетика процесу рекристалізації і його значення для стабілізації властивостей плівок і досягнення оптимальних параметрів. Розглянуті способи отримання монокристалічних плівок, що характеризуються підвищенням температури початку рекристалізації.

У другому розділі описана технологія нанесення плівок і методика експерименту. Для забезпечення стехіометрії плівки напилялись дискретним методом у вакуумній установці УРМЗ.279.01. При цьому для отримання напівпровідникових сполук CdTe, CdSe, InSe, а також складних систем $CdTe_xSe_{1-x}$, активованих Ge, використовувався човниковий випаровувач, а для Ge - кварцовий тигель, що нагрівався намотаним на нього вольфрамовим нагрівачем. При виборі матеріалів для випарників враховувалися наступні вимоги:

- 1) тиск пари матеріалу випарника при температурі наплення речовини повинен бути мінімальним;
- 2) між матеріалом випарника і речовиною, що напиляється, не повинні відбуватися ніякі хімічні реакції.

Таким матеріалом для напилення плівок CdTe, CdSe, InSe і Ge були тантал і кварц. Плівки напилялися з двох випарників, що призначалися для основної сполуки і активатора.

Для цих речовин характерна розбіжність зерен по розмірах, що приводить до нерегулярної подачі матеріалу на випаровувач, і в плівці можуть виникати неоднорідності по хімічному вмісту. Щоб уникнути цього, підкладки нагрівали. А щоб позбутися шаруватої структури, плівки відпалювалися. Термічна обробка напилених плівок здійснювалася в спеціально виготовленій циліндричній печі

з такими параметрами: довжина робочої зони - 220 мм, діаметр - 125 мм, діаметр робочої зони - 55 мм. Температура в пічці контролювалась автоматично приладом МР-64-02. Швидкість зростання температури 276-278 К/хв.

Установка для відпалу зразків в різних газових середовищах сконструйована на базі першої. Зразки, які підлягали відпалу, вставлялися в касету, виготовлену з тугоплавкого матеріалу, після цього її вкладали в ампулу зі сталі 000X18N12 діаметром 45мм і довжиною 115 мм, один кінець якої "глухий". Ампула поміщалася в пічку і з'єднувалася через фланець і скляну трубку з вакуумною установкою. Такий метод давав можливість відпалювати зразки у вакуумі і газових середовищах, зокрема $Kr+N_2$ і $Ar+N_2$.

Очистка скляних підкладок, на які осаджувалися плівки, при середній степені забруднення полягала в наступному: протирка ватним тампоном, зволеним 3-х % або 5-ти % розчином соляної кислоти, потім промивка в дистильованій воді і протирка бяззю.

Товщина плівок визначалася кварцовим вібратором. Плівки наносилися на кварцову пластинку вібратора і одночасно на холодну скляну підкладку, які знаходилися на однаковій відстані від випаровувача.

Розроблений метод градувальних прямих залежності маси і товщини напиленої речовини від зміни частоти кварцового вібратора: $m = f(\Delta\nu)$, $h = f(\Delta\nu)$, де $\Delta\nu$ - приріст частоти, Гц. Задаючись необхідною товщиною плівки, по градувальних прямих ми визначили необхідну масу наважки і навпаки. Ефективність даного методу полягає в його зручності. Особливо доцільне його використання при напиленні напівпровідникових поглинаючих покриттів, де оптичний контроль слабо фіксує кратні значення довжин хвиль $\lambda/4$, $\lambda/2$ і т.д.

Запропонований спосіб реєстрації процесів рекристалізації плівок CdTe, CdSe, InSe і їх композицій, активованих Ge, оптичним методом. Він базується на тому, що оптичні властивості плівок (коефіцієнти пропускання, відбивання, заломлення і поглинання) є структурночутливими.

Ефективна енергія активації рекристалізації плівок визначається з тангенсу кута нахилу прямої залежності $Ue\phi = f[\ln(1/T)]$, де

t, T - відповідно час і температура рекристалізації. Величина U_{ef} рівна $U_{\text{ef}} = \frac{E_{\text{nt}2} - E_{\text{nt}1}}{k \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)}$, де t_1, t_2, T_1, T_2 відповідно час і температури початку рекристалізації, k - стала Больцмана.

Було показано, що момент початку рекристалізації визначається по різкому перегибу на термокінетичних кривих залежності коефіцієнтів пропускання τ плівок від температури відпалу при різних часах відпалу t_1 і t_2 .

В розділі приведені результати вивчення процесу рекристалізації і його залежності від температури підкладки для плівок CdSe, відпалених в різних газових середовищах. Спостерігалось зменшення ефективної енергії активації рекристалізації зі збільшенням температури підкладки при осадженні. Це пов'язано з утворенням зерен вже в процесі росту плівок на нагрітій основі.

У третьому розділі проведено комплексне дослідження залежності оптичних параметрів $\tau, R, n, k, E_g = f(x)$ і $U_{\text{ef}} = f(x)$ від зміни технологічних режимів: температури підкладки, температури відпалу, часу витримки, а також газового середовища і товщини плівки.

Структурні зміни в плівках пов'язані з технологічними параметрами виготовлення і умов їх експлуатації в джерелах випромінювання. Плівки відпалювались у вакуумі, $\text{Kr} + \text{N}_2$ і $\text{Ar} + \text{N}_2$ середовищах на протязі 10, 30, 60, і 90 хвилин.

Вивчався вплив послідовності наплення основної сполуки і активатора Ge на спектральні характеристики плівок. Встановлено, що послідовність наплення плівок CdTe і Ge впливає на край власного поглинання, він зміщується в ІЧ область спектру для CdTe+Ge і не впливає у випадку JnSe.

Для плівок CdTe визначено дві суттєво відмінні області стану структури шару, які розмежовуються вузькою перехідною областю з точкою розмежування 473K. Причиною розмежування стану структури шару в залежності від T_p є умови конденсації телуру, які визначають механізм росту шару CdTe в цілому.

Вивчені спектри пропускання плівок CdSe для різних товщин. Встановлено, що із збільшенням товщини плівки край поглинання зміщується в ІЧ область спектру, а саме, для плівки товщиною 66,5 нм край поглинання знаходиться при $\lambda = 620$ нм, для плівки

товщиною 133,5 нм - при $\lambda = 650$ нм. Коефіцієнт пропускання $\tau = 0,85$ для плівки $h=133,5$ нм - при $\lambda_{\max}=800$ нм.

Досліджена залежність оптичних параметрів напівпровідникових плівок від температури підкладки. Плівки CdTe і CdSe, напилені на підкладку при $T_p = 293$ К, мають дрібнокристалічну структуру. Плівки, які наносяться на нагріті підкладки, мають збільшені розміри кристалів.

Вивчені спектри пропускання плівок CdSe, відпалених в різних газових середовищах при різних часових витримках. Встановлено, що спектральний коефіцієнт пропускання для плівки CdSe в ІЧ області спектру суттєво залежить від температури відпалу на повітрі. Максимальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\lambda=750}=0,9$ при $T_{\text{від}}=423$ К. Для $\text{Ar}+\text{N}_2$ середовища $\tau_{\max}=0,96$ в області 1400 - 1800 нм, $T_{\text{від}}=423$ К. В $\text{Kr}+\text{N}_2$ середовищі максимальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\lambda=750} = 0,9$ $T_{\text{від}} = 523$ К. При відпалі у вакуумі $\tau_{\lambda=750} = 0,89$, $T_{\text{від}}=473$ К.

Для плівок CdSe вивчена залежність коефіцієнта пропускання τ від часу відпалу у вакуумі для фіксованої довжини хвилі. Встановлено, що τ не залежить від часу відпалу.

Досліджувалась залежність коефіцієнтів заломлення плівок CdSe від температури підкладки. Встановлено, що при збільшенні температури підкладки до значення $T_p=473$ К коефіцієнти n і k зменшуються. Імовірно, що зміна коефіцієнта заломлення пояснюється кристалізацією плівок в кубічній чи гексагональній структурі в залежності від температури підкладки. Коефіцієнт n менше залежить від температури і часу відпалу. Це ознака того, що процес рекристалізації починається при $T_{\text{від}}=573$ К.

Вивчені спектри пропускання і відбивання плівок $\text{CdTe}_x\text{Se}_{1-x}$. Вибрана концентрація $x=0,4$, при якій коефіцієнт пропускання є максимальним. Встановлено, що характер залежності коефіцієнтів заломлення n і поглинання k від концентрації x є нелінійним. Область значень $0,3 < x < 0,5$ є областю змішаних структур. Інтервал значень $0,4 < x < 0,8$ є областю фазового переходу від кубічної структури для CdTe до гексагональної для CdSe.

Досліджувалися спектри пропускання і поглинання для плівок $\text{CdTe}_x\text{Se}_{1-x}$, відпалених в різних газових середовищах. Встановлено,

що при збільшенні x максимум пропускання зміщується в ІЧ область спектру для всіх газових середовищ. Із зростанням температури відпаду коефіцієнт пропускання зменшується. Найменший коефіцієнт $k=8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ спостерігається при відпалі плівок у вакуумі.

Тверді розчини сполук $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ відносяться до так званої другої групи змішаних кристалів, для яких мінімум ширини забороненої зони залежить від їх складу. Особливе місце займають серед них потрійні системи, що є неперервними рядами твердих розчинів заміщення, які поступово змінюють ширину забороненої зони E_g в залежності від їх складу.

В роботі досліджувалась залежність ширини забороненої зони від хімічного складу (концентрації x), температурного впливу і газового середовища, в якому проводився відпал тонких плівок.

Оптичні спектри пропускання і відбивання володіють чітким краєм фундаментального поглинання, а ширина забороненої зони плівок визначалася шляхом апроксимації прямолінійної ділянки спектральної залежності квадрата коефіцієнта поглинання до перетину з віссю абсцис. Отримали нелінійну залежність $E_g=f(x)$ для плівок $\text{CdTe}_x\text{Se}_{1-x}$. В міру заміщення телуру селеном ширина забороненої зони спочатку зменшується до деякого мінімуму при $0,4 < x < 0,6$, а потім повільно зростає до значення ширини забороненої зони, характерної для чистого CdSe . Така ж закономірність існує і для кристалу.

Залежність $E_g=f(x)$ при різних температурах відпаду також має нелінійний характер для $x=0,0$; $0,2$, $E_g=f(x)$ має максимальне значення при $T_{\text{від}}=423\text{K}$, а для $x=0,4-1,0$ E_g максимальне при $T_{\text{від}}=423\text{K}$. Тобто, при збільшенні x максимум для E_g зміщується в область менших температур.

Досліджена залежність $E_g=f(x)$ для плівок $\text{CdTe}_x\text{Se}_{1-x}$ від температури відпаду в різних газових середовищах. Залежність $E_g=f(x)$ також має нелінійний характер. Для всіх випадків мінімум ширини забороненої зони знаходиться в інтервалі $0,4 \leq x \leq 0,6$. Спостерігається незначне зростання E_g при відпалі плівки в $\text{Kr}+\text{N}_2$, $\text{Ar}+\text{N}_2$ середовищах.

Вивчалися спектри пропускання і відбивання плівок $\text{CdTe}_x\text{Se}_{1-x}$, активованих Ge , після відпаду в різних газових

середовищах. Досліджено, що в активованих плівках Ge появляються додаткові максимуми при 1400нм, в цій області $\tau_{\max}=0,98$ для $x=0,0$. Результати цих досліджень були використані при виборі оптимальних режимів в процесі розробки ІЧ фільтрів.

В четвертому розділі на прикладі тонких плівок CdSe показано застосування методу математичного моделювання з метою мінімізації числа експериментів досліду. Найбільш широке застосування знайшли моделі у вигляді поліномів. В роботі моделювалися умови напilenня плівки і розраховувалися її фізичні параметри. В розрахунок входять: маса наважки-М, мг; температура підкладки - T_p , °С; температура відпалу - $T_{від}$, °С, час відпалу - t , хв. Швидкість напilenня плівок становила 200 Å/хв.

Параметром оптимізації вибрано співвідношення $Y = \frac{\tau_9 + \tau_{12}}{\tau_6 + \tau_8}$ де τ_9 , τ_{12} , τ_6 , τ_8 - пропускання плівки відповідно для довжин хвиль 900, 1200, 600, 800 нм. З результатів коефіцієнтів регресії впливом температури відпалу на характеристики фільтру можна знехтувати, однак вплив маси наважки і температури підкладки значний. Максимальна взаємодія спостерігається між температурою підкладки і масою наважки. З допомогою цього методу визначені оптимальні технологічні режими при розробці ІЧ фільтрів.

Якщо вимоги до оптичних параметрів фільтрів менш жорсткі, їх можна виготовляти, не відпалюючи.

При наявності великої кількості змінних факторів метод математичного моделювання є раціональним при визначенні оптимальних технологічних режимів.

В п'ятому розділі розглянуті джерела, які мають максимум випромінювання в ближній ІЧ області спектру. Однак фільтри, які використовуються для корегування спектру, не є стійкими до жорстких механічних і кліматичних навантажень.

Розглянуті основні механічні і кліматичні вимоги до сучасних ІЧ джерел випромінювання. Область максимального випромінювання 0,8-1,5 мкм. Досліджена і розроблена ціла низка фільтрів з областю пропускання в ближній ІЧ області спектру.

Розроблені спеціальні ІЧ джерела випромінювання, в яких використані найбільш ефективні фільтри, отримані на базі напів-

провідникових плівок CdTe, CdSe і InSe, активованих Ge, і їх композицій. В ІЧ джерелах використані напівпрозорі і непрозорі у видимій області спектру фільтри. Для напівпрозорих фільтрів зі сторони видимої області спектру є обмеження при $\lambda = 600\text{нм}$, $\tau \approx 0,3$; $\tau_{\text{max}} = 0,92$ при $\lambda \approx 930\text{нм}$. Для непрозорих фільтрів CdTe+CdSe+Ge зі сторони видимої області спектру є обмеження при $\lambda \sim 770\text{нм}$; $\tau_{\text{max}} = 0,88$ з $\lambda_{\text{max}} = 1040\text{нм}$. Перевага джерела з непрозорим фільтром у видимій області спектру полягає в тому, що за рахунок шару CdSe маємо зміщення максимуму пропускання в сторону довших довжин хвиль з одночасним збільшенням відносного випромінювання в ІЧ області спектру.

Досліджувалися шляхи підвищення стабільності світловідбиваючого покриття в процесі термообробки джерела. На наважку з матеріалу, який має високі світловідбиваючі властивості (алюміній), наносився гальванічним методом хром в електролітичній ванні при температурі 55°C і густині струму 75А/дм^2 , співвідношення маси хромового ангідриду в масі сірчаної кислоти в розчині містить 100:1. Випаруваний матеріал досягає поверхні скляного відбивача і конденсується на ньому. При цьому хром розпилюється в першу чергу. Частина його створює підкладку на складеталі, що покращує адгезію алюмінію, а частина хрому в процесі напилення взаємодифундує з алюмінієм і осаджується на підкладку в виді змішаного шару. На основі дослідженого розроблений техпроцес нанесення високотемпературного світловідбиваючого покриття. Отже, завдяки цьому відбувається стабілізація стійкості до механічних і температурних навантажень. Збільшення коефіцієнта відбивання після термообробки становить 1,5-2,1%.

З метою підвищення класу чистоти склазаготовок для ламп-фар, досліджувалися методи покращення поверхні скла. Розроблена установка для безполум'яного полірування складеталей, що забезпечує високий коефіцієнт пропускання. Принцип полірування полягає в оплавленні поверхневого шару скла ІЧ випромінюванням кераміки, нагрітої при згоранні газу в пальнику. Запропонований метод повністю придатний для механізації процесу. Розроблений техпроцес полірування. Клас чистоти підвищується на два порядки,

а коефіцієнт пропускання τ і відбивання R збільшується на 8-10 відсотків.

Досліджувалися різні варіанти конструкцій ниток розжарення, які би в жорстких механічних і кліматичних умовах були надійними в роботі і мали б підвищену довговічність.

В результаті була розроблена нетрадиційна конструкція нитки розжарення в виді багатожильного скрученого джгута. Конструкція такого джерела витримує високі механічні навантаження.

Нитки розжарення піддавалися стопроцентному безруйнівному контролю на предмет наявності мікротріщин, які є однією із причин перегорання ниток розжарення в процесі роботи.

Розроблений техпроцес виготовлення і контролю джгутованих ниток розжарення.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Розроблена технологія нанесення напівпровідникових покриттів CdTe, CdSe, InSe і їх композицій, активованих Ge, для світлофільтрів прозорих в ІЧ області спектру.

2. Вивчена залежність процесу рекристалізації плівок CdSe від технологічних факторів, зокрема, температури підкладки, середовища і температури відпалу. Встановлено, що більшому часу відпалу відповідає менша температура початку рекристалізації. Зі збільшенням температури початку рекристалізації підвищується термостійкість плівки. Спостерігається зменшення енергії активації рекристалізації (U_{ef}^p) при підвищенні температури підкладки, що свідчить про наявність процесу рекристалізації при конденсації. При підвищенні T_p від 300 до 550K енергія рекристалізації спадає: при відпалі в газовій суміші $Kr+N_2$ від 0,35 до 0,13 еВ, $Ar+N_2$ - від 0,32 до 0,13 еВ, у вакуумі - від 0,2 до 0,07 еВ. Для плівок, відпалених в газових сумішах, U_{ef}^p є більша, ніж у вакуумі, за рахунок втілення атомів в конденсат, що призводить до зменшення рухливості границь зерен.

3. Вивчення залежності енергії рекристалізації і термостійкості плівок від хімічного складу і температури підкладки

Тп дало можливість одержувати якісні шари.

Для плівок $CdTe_xSe_{1-x}$ залежність U_{ef}^p від концентрації x має нелінійний характер з максимумом при $x=0,6$, $U_{ef}^p=0,95$ еВ.

4. Встановлено, що спектральні характеристики плівок залежать від товщини і послідовності напилення активатора. При збільшенні товщини плівки CdSe край власного поглинання зміщується в ІЧ область спектру і має максимальний коефіцієнт пропускання $\tau = 0,85$ для $\lambda = 780$ нм. Послідовність напилення активатора Ge впливає на спектральні характеристики плівок CdTe, CdSe і не впливає у випадку InSe.

5. Вивчені спектральні залежності пропускання плівок CdSe, напилених на підкладку при різних температурах і відпалених в різних газових середовищах. При відпалі на повітрі на кривих пропускання появляються смуги поглинання в короткохвильовій області спектру, що, ймовірно, пов'язано з частковим окисненням. Для плівок CdSe коефіцієнт пропускання в ІЧ області спектру залежить від температури відпалу на повітрі, $Ar+N_2$ середовищі і в меншій мірі залежить від відпалу у вакуумі. Відпал в $Kr+N_2$ середовищі практично не впливає на оптичні сталі плівки. Коефіцієнт пропускання τ для фіксованої довжини хвилі $\lambda = 832$ нм в межах температур відпалу 423-573К практично не залежить від часу відпалу і становить $\sim 0,8$.

6. Встановлено, що коефіцієнт заломлення n для плівки CdSe істотно залежить від температури підкладки і менше залежить від температури і часу відпалу. Максимальне значення коефіцієнтів $n=2,35$, $k=11 \cdot 10^3$ cm^{-1} при $T_p=423K$ і мінімальне значення $n=1,55$, $k=5 \cdot 10^3$ cm^{-1} при $T_p=474K$. Імовірно, що зміна коефіцієнта заломлення пояснюється кристалізацією плівок в кубічній чи гексагональній структурі в залежності від температури підкладки.

7. Вивчені спектри відбивання і пропускання плівок $CdTe_xSe_{1-x}$. Максимум пропускання $\tau=0,87$ при $\lambda=1000$ нм і $x=0,4$. Встановлено, що характер залежності коефіцієнтів заломлення n і поглинання k від концентрації x є нелінійними. При $x=0,4$ спостерігається мінімальне значення коефіцієнта заломлення n і максимальне значення коефіцієнта поглинання $k=7,78 \cdot 10^4$ cm^{-1} .

8. Досліджені спектри пропускання і поглинання плівок $CdTe_xSe_{1-x}$, відпалених в різних газових середовищах. Встановлено, що при збільшенні x максимум пропускання зміщується в ІЧ область спектру: τ_{max} при $\lambda \sim 800nm$ для $x = 0,0$, τ_{max} при $\lambda \sim 1040nm$ для $x = 1,0$. Із зростанням температури відпалу коефіцієнт поглинання зменшується. При $x=0,4$, відпал у вакуумі, $T_{від}=523K$, $k=8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$.

9. Показано, що залежність E_g плівок $CdTe_xSe_{1-x}$ від x при різних $T_{від}$ і газових середовищах має нелінійний характер. Для всіх випадків мінімум ширини забороненої зони знаходиться в інтервалі $0,4 < x < 0,6$. При відпалі спостерігається незначне зростання забороненої зони.

При відпалі на повітрі $T_{від}=523K$, $E_{gmin}=1,15eV$; у вакуумі $T_{від}=423K$, $E_{gmin}=1,32eV$; в $Kr+N_2$ суміші $T_{від}=473K$, $E_{gmin}=1,36eV$; в $Ar+N_2$ суміші $T_{від}=423K$, $E_{gmin}=1,36eV$.

10. Вивчені спектри пропускання і відбивання плівок $CdTe_xSe_{1-x}$, активованих Ge, отриманих при різних температурах підкладки. Результати цих досліджень використані при розробці ІЧ фільтрів.

11. На основі досліджень залежності оптичних параметрів (τ, R, n, k, E_g) від хімічного складу, послідовності нанесення шарів, температури підкладки, температури відпалу в різних газових середовищах розроблені технологічні рекомендації по отриманню відбиваючих і поглинаючих шарів з оптимальними параметрами.

12. Розроблені ІЧ термостійкі фільтри, малопрозорі і непрозорі у видимій області спектру, з використанням плівок $CdTe$, $CdSe$ і $InSe$, активованих Ge, і їх композицій:

- світлофільтри з $CdTe+Ge$ товщиною 147 нм, $CdTe+CdSe+Ge$ товщиною 213,5 нм і $InSe$ товщиною 142 нм частково пропускають випромінювання лампи-фари у видимій області спектру;

- розроблено ІЧ джерело випромінювання у вигляді лампи-фари з корегуючим фільтром $CdTe+Ge$, нанесеним на розсіювач. Товщина плівки $CdTe$ становить 220-225нм, товщина шару Ge 10-12нм. Спектр випромінювання такого джерела частково знаходиться у видимій області;

- розроблено ІЧ джерело випромінювання з максимальною силою випромінювання в ІЧ області спектру з трьохшаровим покриттям з товщинами: 220-225 нм - CdTe, 207-215 нм - CdSe, 10-12 нм - Ge. Пропускання у видимій області спектру відсутнє.

14. Для забезпечення надійності роботи ІЧ лампи-фари розроблені техпроцеси:

- отримання джгутованих ниток розжарення;
- полірування поверхонь складеталей;
- нанесення світловідбиваючого покриття на відбивач.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ.

1. Бурак М.М., Фишер Я.В. Метод измерения толщины покрытия в процессе напыления. // Технология электротехнического производства. - 1984. - Вып.12. - С.3-4.
2. Бурак М.М., Миколайчук А.Г., Капустяник В.Б. Рекристаллизация и оптические свойства полупроводниковых пленок сложных систем $CdTe_xSe_{1-x}$ //ДЕП. в ВИНТИ 31.08.89, № 3598-В89. Реф.УФЖ. -1989. -т.34, № 10. -С.1523.
3. Бурак М.М., Миколайчук А.Г., Капустяник В.Б. Определение энергии активации рекристаллизации пленок CdSe // ДЕП. в ВИНТИ 12.05.87, № 3414-В87. Реф.УФЖ. -1987. -т.32, № 11, -С.1755.
4. Бурак М.М., Капустяник В.Б., Миколайчук А.Г. Зависимость энергии активации рекристаллизации пленок селенистого кадмия от температуры подложек и отжига в различных газовых средах //Тезисы докл. I Всесоюз. школы по термодинамике и технологии полупроводн. кристаллов и пленок. Ивано-Франковск. -1986. -С.247.
5. Бурак М.М., Миколайчук О.Г. Вплив хімічного вмісту і температурних дій на оптичну ширину забороненої зони тонких плівок CdTe Se //Тези IV Міжнародної конференції з фізики і технології тонких плівок. Івано-Франківськ. -1993. -С.379.
6. Бурак М.М., Миколайчук А.Г., Капустяник В.Б. Разработка инфракрасных фильтров с применением математического моделирования //ОМП. -1989, № 2. -С.34-36.
7. Скорик В.И., Соляник З.В., Стецура М.М. Поверхностная энергия

поликристаллического вольфрама в разных средах //Физическая электроника. - 1980. -Вып.21. -С.113-115.

8. Бурак М.М., Фишер Я.В. Метод измерения толщины покрытий в процессе напыления // Информ.листок.Львов.ЦНТИ -1984, № 15. -5С.

9. Бурак М.М. Горелка для беспламенной (инфракрасной) полировки поверхности стеклодержателя // Информ.листок.Львов.ЦНТИ. -1983, № 256-83. -3С.

10. Бурак М.М. Бессеребрянная высокотемпературная мастика //Информ.листок.Львов.ЦНТИ. -1986, № 86-061.-3С.

11. Макаренко С.В., Миколайчук О.Г., Бурак М.М. і ін. Особливості спектру локальних станів в плівках твердих розчинів //Тези допов. І Української конф. Структура і фізичні властивості неупорядкованих систем. Львів.-1993.-С.25-26.

12. А.С.1279464. Источник излучения / Бурак М.М., ЛахоцкийТ.В., Соляник З.В., Дякив Т.А., Яцишин С.П. //-1986.

13. А.С.1619965. Источник излучения / Бурак М.М., Миколайчук А.Г. //-1990.

14. А.С.1535856. Способ получения светоотражающего покрытия /Бурак М.М., Капустяник В.Б., Миколайчук А.Г., Сколоздр С.В., Скорик В.И. // Бюлетень изобретений. - 1990, № 2.

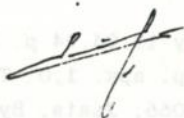
15. А.С.1700637. Способ образования диффузного покрытия на колбах ламп накаливания /Бурак М.М. и др.// Бюлетень изобретений. -1991, № 47.

16. А.С.1756975. Способ образования диффузного покрытия на колбах ламп накаливания /Бурак М.М. и др.// Бюлетень изобретений. -1992, № 31.

17. А.С.1188809. Тело накала /Лахоцкий Т.В. Яцишин С.П., Бурак М.М. Сорокопуд Е.М.//Бюлетень изобретений. -1985, № 40.

18. А.С.1332214. Устройство для отбраковки тел накала /Яцишин С.П., Лахоцкий Т.В., Скорик В.И., Бурак М.М. //Бюлетень изобретений. -1987, № 31.

Підпис автора



М.М.Бурак

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

10. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

11. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

12. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

13. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

14. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

15. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

16. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

17. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

18. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

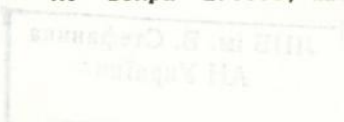
19. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

20. Бурок М. М. Взаємодія між системою управління підприємством та системою управління підприємством. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 1993. - 100 с.

Підписано до друку 15.04.94 р. Формат 60X84 1/16

Друк офсетний. Ум. др. арк. 1,0. Титаж 100. Зам. № 536.

АТ "Іскра" 290066, Львів, Вулицька, 14



MB 57.8
201

462296

AB 29.870

AB 29.870

Published by the U.S. GPO, Washington, D.C. 20540
Price: 1.00 (plus 10% for mailing and handling)
of "Large" format, 10 1/2" x 14 1/2"