

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису  
УДК 621.373.826.038.823

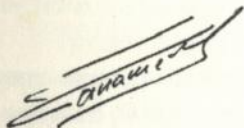
КАНАШЕВИЧ Георгій Вікторович

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ОБРОБКА ПОВЕРХНІ ПЛАТ  
ОПТИЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

Спеціальність 05.03.07 - процеси лазерної і фізико-технічної обробки

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Г. Канашевич

Київ - 1997



Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі високоефективних процесів обробки в Черкаському інженерно-технологічному інституті.

Наукові керівники: - кандидат хімічних наук,  
с.н.с. Дубровська Г.М.

- доктор технічних наук,  
професор Котельников Д.І.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук,  
професор Головка Л.Ф.

- кандидат технічних наук,  
с.н.с. Ковбасенко С.М.

Провідна організація: інститут хімії поверхні НАН України, м.Київ

Захист дисертації відбудеться "10" червня 1997 р.  
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д01.02.09 в  
Національному технічному університеті України "КПІ" за адресою:  
252056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37 корп. 1, ауд. 214.  
З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці НТУУ "КПІ"

Автореферат розісланий "25" 04 1997р.

Відгук на автореферат просимо переслати вченому секретарю спеціалізованої Ради Д01.02.09, д.т.н., професору Равській Н.С. за адресою: м.Київ, пр. Перемоги, 37, корпус 1.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради  
д.т.н., професор

Н.С.Равська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В сучасних системах обробки та передачі інформації впроваджується перехід від електричних до оптико-електронних ліній та приладів, в тому числі до волоконно-оптичних ліній зв'язку та схем на базі елементів інтегральної оптики (ІО). Головна мета ІО полягає у створенні елементів, за допомогою яких формуються і розподіляються світлові потоки, що несуть інформацію в планарних оптичних структурах товщиною у десятки долі одиниць та одиниці мікрометрів.

У номенклатурі сучасних конструкційних матеріалів оптичних інтегральних схем (ОІС) скло відноситься до класу матеріалів, плати з якого забезпечують порівняно невеликі втрати енергії електромагнітної хвилі (менше за 0,5 дБ/см), добру сприйнятливність до модифікування, простоту формування елементів ОІС. Обробка скла має високу сумісність з технологіями мікроелектроніки (напиленням, йонною імплантацією, йонним обміном, електронною літографією).

Вимоги ІО неможливо задовольнити без використання субмікронних технологій, що включають процеси літографії, рентгенолітографії, йонного та йонно-хімічного травлення, молекулярної епітаксії. Такі процеси дають можливість виготовляти оптичні елементи з оптимальними лінійними розмірами до 10 мкм та шорсткістю границь менше ніж  $5 \cdot 10^{-3}$  мкм. Технологічною проблемою ІО є створення плат з поверхнею, яка якісно відполірована, бездефектна, однорідна за хімічним складом, та очищена від забруднень.

Труднощі в отриманні якісних поверхонь для ОІС на склі поєднуються з використанням в оптичній промисловості технологій механічного та хіміко-механічного полірування, які не дозволяють уникнути поверхневих дефектів: зовнішнього рельєфного та заглибленого на (0,5...1,5) мкм дефектного шару. Дефекти, утворивши оптично-неоднорідну поверхню, викликають втрати енергії електромагнітної хвилі, що значно зменшує достовірність розподіленої інформації по елементам ОІС. Іншою важливою проблемою є отримання скляних плат ОІС вагою в десятки одиниць грама та лінійними розмірами  $10^2 \dots 10^3$  м.

Оскільки освоєння промислового випуску ОІС в Україні і за кордоном на даний час неможливе через недосконалий рівень загальної технології виготовлення плат ОІС, особливо важливим питанням є пошук нових технологічних засобів, які б забезпечили отримання необхідних характеристик поверхні плат ОІС. Перспективним для технології ІО (простота реалізації, сумісність з тонкоплівковою та напівпровідниковою технологіями, можливість керування технологічним процесом, екологічна чистота) постає метод фінішної електронно-променевої обробки поверхневого шару (ПШ) плат з оптичного скла, розроблений в даній роботі.

Аналіз вітчизняних і закордонних робіт в галузі ІО показав, що роботи з електронно-променевої обробки (ЕП-обробки) елементної бази ІО раніше не проводились, а створення плат нових типів є питанням актуальним у науковому і практичному плані.

Метою дисертаційної роботи є розробка нової технології ЕП-обробки скляних плат оптичних інтегральних схем, яка забезпечує необхідні характеристики їх поверхні.

В роботі вирішувались такі задачі:

1. Визначення характеру теплової та електричної дії електронного пучка на поверхню скла К-8, БК-10, ТК-21 та побудова феноменологічної (описової) моделі для визначення параметрів керування процесом ЕП-обробки плат ОІС.

2. Дослідження структурних особливостей та фізико-хімічного стану плат, оброблених електронним пучком, характеру залишкових напружень та ресурса надійності одержаних плат.

3. Розробка обладнання та технології електронно-променевої обробки плат ОІС з оптичного скла К-8, БК-10, ТК-21.

4. Визначення ефективності використання методу ЕП-обробки оптичного скла у промисловій сфері.

Наукова новизна:

1. Запропонована феноменологічна модель ЕП-обробки оптичного скла на силікатній основі. Експериментально показано, що обробка ПШ скла електронним пучком для поліпшення оптичних властивостей можлива на двох стадіях теплової дії (СТД):

а) нагріванням без створення рідини (розплаву) на поверхні плати при температурі поверхні  $T_{пов}$  (973...1173)К - I СТД, питомій потужності пучка  $R_{пит}$  ( $10^6...5 \cdot 10^6$ ) Вт/м<sup>2</sup> дозволяє модифікувати продукти гідролізу, які заповнюють дефектний шар після глибокого шліфування та полірування (ГПП);

б) нагріванням із створенням на глибину до 100 мкм рідини в поверхні плати,  $T_{пов}$  (1273...1573)К - II СТД,  $R_{пит}$  ( $10^7...5 \cdot 10^7$ ) Вт/м<sup>2</sup>; глибина зони термічного впливу  $h_T$  від електронного пучка і глибина проплавлення  $h_{пр}$  знаходяться в співвідношенні:  $h_T = 2 \cdot h_{пр}$ . Електронно-променева дія змінює структуру ПШ скла на силікатній основі та наближує її до структури кварцевого скла, покращує температурну стабільність поверхні плати, забезпечує умови для створення градієнту оптичних властивостей в ПШ плати, як безпосередньо, так і внаслідок низькотемпературного йонного обміну.

2. Вперше встановлено, що швидкість розчинення поверхні лужно-силікатного скла в рідинах із змістом HF збільшується у 1,5...2 рази. Розроблені методики дозволяють оцінити глибину зони термічного впливу  $h_T$  і глибину проплавлення  $h_{пр}$  ПШ скла при різних режимах дії пучка, надають можливість визначити і розкрити поверхневий дефектний шар, що утворився на попередніх стадіях механічної обробки.

3. Вперше встановлено, що поверхня силікатного скла після обробки електронним пучком має ламелярну структуру і буферні властивості до низькотемпературного йонного обміну  $Na^+ \leftrightarrow Ag^+$  з розплаву  $AgNO_3$  при  $T_{й.о.} \ll T_g$  ( $T_{й.о.}$  та  $T_g$  - температура йонного обміну і температура початку розм'якшення скла відповідно).

4. Досліджено характер залишкових напружень в поверхні плати ОІС після ВП-обробки на II СТД. Визначено, що максимально можливі стискуючі напруження в охолодженій платі дорівнюють  $\sigma_{ст} = 6,6$  МПа.

**Практичне значення** роботи полягає в тому, що:

1. Технологія фінішної ВП-обробки оптичного скла К-8, БК-10, ТК-21 застосована в ВО "Завод Арсенал" для доведення поверхні плат ОІС після обробки ГПП.

2. ВП-обробка змінює клас оптичної чистоти поверхні з III до I і 0 на дискових платах і з IV до II і I на прямокутних платах, гомогенізує ПШ за хімічним складом (Na, K, Si, O), забезпечує на поверхні плати

залишкові мікронерівності менші за  $5 \cdot 10^{-3}$  мкм і підвищену температурну стабільність, чим покращує оптичні і експлуатаційні характеристики плати.

3. Пластини товщиною  $(0.1...2) \cdot 10^{-3}$  м, які одержані відшаровуванням з поверхні плат із К-8, БК-10, апробовані і використані як плати ОІС в ЦКБ "Арсенал" (г/д тема "Разработка элементов интегрально-оптических схем новыми методами на основе электронно-лучевой обработки", шифр "Рожь ЧФ", 1989-1993 р.р.).

Впровадження результатів роботи. Робота виконувалась в рамках госпдоговірних робіт: "Разработка методов полировки плоских и сферических элементов интегральной оптики высших классов оптической чистоты с микронеровностями менее 5нм" (шифр "Страда-ЧФ", 1985 - 1988 р.р., ЦКБ "Арсенал", м. Київ), "Разработка технологии и метрологии электронно-лучевой обработки поверхностей оптических деталей" (проект 6.8-303 ДКНТ України, 1992-1993р.р.). Розроблені метод і методики ЕП-обробки елементної бази впроваджені у дослідних та серійних виробках типа "Маяк", "Бархан", "Альбатрос".

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертації доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях: "Социально-экономические проблемы развития народного хозяйства" (м. Черкаси 1988р., 1990р.), II Всесоюзній конференції "Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц" (м. Свердловськ, 1991 р.), IV Всесоюзній конференції "Применение электронной и ионной технологии в народном хозяйстве" (м. Москва, МЕІ, 1991 р.), IV Європейській конференції-виставці з матеріалів і технологій "Восток-Запад" (м. Санкт-Петербург, 1993 р.), міжнародній конференції з модифікації оптичних поверхонь електронним променем (м. Суми, 1993р.), міжгалузевому науково-практичному семінарі з участю закордонних фахівців "Вакуумная металлизация" ( м. Харків, 1996 р.).

В дисертаційній роботі захищається:

1. Феноменологічна модель дії електронного пучка на лужно-силкатне скло та залежність впливу технологічних режимів обробки на характеристики якості поверхні (мікрорельєф, дефектний та тріщиновидний шар, хімічну однорідність) оптичного скла К-8, БК-10, ТК-21.

2. Методики та результати досліджень впливу модифікованих параметрів ПШ (мікрорельєфу, мікроструктури, залишкових напружень, мікротвердості) на експлуатаційні характеристики (світлорозсіяння, втрати енергії електромагнітної хвилі в елементах ІО, термостійкість, мікротвердість, ресурс надійності) плат ОІС.

3. Обладнання і технологія електронно-променевої обробки поверхні скляних плат ОІС.

4. Ефективність використання методу ВП-обробки оптичного скла у промисловій сфері.

Публікації. Результати дисертаційної роботи відображені в 6 науково-технічних звітах, опубліковані в 14 друкованих працях, 3 авторських свідоцтвах, одному позитивному рішенні на видачу авторського свідоцтва і двох позитивних рішеннях на видачу патента України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури (176 назв) та додатків. Загальний обсяг дисертації 142 стор., мал. 60, таблиць 15, додатків 3.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

На початку роботи обґрунтована її актуальність, визначені мета і задачі досліджень, приведені наукова новизна та практична цінність результатів.

Огляд і аналіз літературних даних дозволяють зробити висновки:

Параметри ОІС та їх елементної бази залежать і визначаються станом поверхні плати, її оптичною однорідністю, наявністю дефектів на глибинах до 10 мкм; дефектний ПШ плати впливає на втрати енергії електромагнітної хвилі в оптичному хвильоводі. Кардинальна зміна на краще можлива при відсутності дефектного шару, коли залишкові мікронерівності на поверхні матимуть розміри менші за  $5 \cdot 10^{-3}$  мкм, а ПШ буде хімічно однорідним.

Локальну обробку поверхні скла виконують лазерною, ІК, йонно-променевою, електронно-променевою обробкою. Проаналізовано результати дії електронного пучка на скло К-8 (вхідні вікна відеоконів), з метою зменшення мікрорельєфу поверхні та усунення дефектного шару

(робота Лісоченко В.М.). В роботі Кравченка О.О. показано, що низькоенергетична (до 10 кеВ) електронно-променева обробка дає можливість змінити концентрацію Na в поверхні скла К-8.

Разом з тим, сучасні уявлення про електронно-променеву обробку скла обмежені описами гаданих гідродинамічних процесів та процесів термічної емісії йонів  $\text{Na}^+$  з ПШ скла К-8 у вакуум. Ці уявлення не відбивають повної картини процесу дії пучка на ПШ силікатного скла. Відкритим залишається питання взаємодії електронного пучка з дефектним шаром в поверхні скляної плати. Відсутні є аналіз експериментальних даних руйнування скла від електронно-променевої дії на його поверхню, а також практичного застосування вказаного ефекту. Відсутні роботи з вивчення взаємодії ПШ ЕП-обробленого силікатного скла з розплавами, що вміщують  $\text{AgNO}_3$ .

До теоретичної частини роботи належить побудова феноменологічної (описової) моделі електронно-променевої дії на ПШ силікатного скла. Розглянуто процеси взаємодії матеріалу з електронним пучком та утворення модифікованої структури в ПШ скла (враховані процеси електропровідності та поляризації скла). Введено дві робочі гіпотези:

1. Модифікація оптичних властивостей ПШ скла можлива без утворення на поверхні рідини. В цьому випадку, дія пучка в умовах вакууму не ліквідує дефекти скла на глибину 0,5...1,5 мкм від поверхні, а приводить до фізико-хімічних перетворень продуктів гідролізу, які наповнюють мікропорожнини дефектного шару.

2. Рідинний стан скла в поверхні, що утворюється в результаті дії пучка може привести до направленої поляризаційної орієнтації кремнійкисневої сітки вздовж силових ліній прикладеного поля та її наступної фіксації при охолодженні розплаву.

Моделюванням визначені параметри і межі керування процесом дії пучка при обробці скляних плат ОІС. Розрахунок можливих температур процесу обробки проводився із побудованої моделі рухомого джерела теплоти стрічкової форми (з врахуванням коефіцієнта зосередженості джерела) на поверхні напівбезмежного тіла. В основу розрахунку покладено рівняння теплопровідності. Шляхом інтегральних перетворень одержане рішення:

$$T(X, Z, t) = T_0 + \frac{P \cdot a \sqrt{k}}{\pi \cdot \lambda \cdot l} \cdot e^{\frac{V_{ny} \cdot X}{2 \cdot a^2} - \frac{V_{ny}^2 \cdot t}{4 \cdot a^2}} \times$$

$$\int_0^t e^{\frac{V_{ny}^2 \cdot t}{4 \cdot a^2} - \frac{Z^2}{4 \cdot a^2 \cdot (t-\tau)} - \frac{4 \cdot a^2 \cdot k \cdot X^2 - V_{ny} [2X + V_{ny} (t-\tau)]}{4 \cdot a^2 [1 + 4 \cdot a^2 \cdot k (t-\tau)]}} \cdot \frac{d\tau}{\sqrt{t-\tau} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot a^2 \cdot k (t-\tau)}} \quad (1)$$

де  $a$  - температуропровідність;  $t$  - термін дії;  $T_0$  - температура попереднього нагріву;  $k$  - коефіцієнт зосередженості;  $l$  - лінійний розмір пучка по осі  $Y$ ;  $V_{пуч}$  - швидкість пучка по поверхні плати вздовж осі  $X$ ;  $X, Z$  - координати в просторі;  $\lambda_c$  - коефіцієнт теплопровідності скла.

Характер розподілу температури по поверхні плати для різних значень коефіцієнтів зосередженості  $k$  зображено на рис.1, а на рис.2 представлено характер зміни температури від поверхні вглиб плати. Дані отримані чисельним розрахунковим методом кінцевих різниць, виходячи з рівняння теплового балансу:

$$P + Q_{i-1,1} + Q_{i+1,1} + Q_{i,2} = \frac{c\rho V}{\Delta t} (T_1' - T_1), \quad (2)$$

де  $c$  - питома теплоємність;  $\rho$  - густина матеріалу;  $V$  - елементарний об'єм;  $P$  - потужність пучка;  $Q_{i-1,1}, Q_{i+1,1}, Q_{i,2}$  - теплота, яка підводиться від сусідніх точок;  $T_1$  - температура в розрахунковій точці  $i$ ;  $T_1'$  - температура в наступний момент часу  $\Delta t$ .

Спрогнозовано режим ЕП-обробки, який приводить до відшарування ЕП- обробленої поверхні від початкової плати.

На етапі експериментальних досліджень визначено, що параметри площинності  $N$  і  $\Delta N$  поверхні скла, що ЕП-оброблена пучком, в режимі I СТД зберігаються, а в деяких випадках покращуються до  $N=0,3$ ,  $\Delta N=0,1$  кільця Ньютона. В режимі II СТД параметри  $N$  та  $\Delta N$  можуть погіршитись до величин  $N=2,0$ , а  $\Delta N = 0,7$ , що не є критичним для плат IO.

Дослідженням якості оптичних поверхонь згідно ДЕСТ 11141-84 встановлено:

1. В режимі I СТД не ліквідуються на поверхні плати мілкі подряпини шириною 0,01 мм і точки діаметром 0,05...0,1мм, що відповідає значенню чистоти оптичної поверхні  $P=III$ .

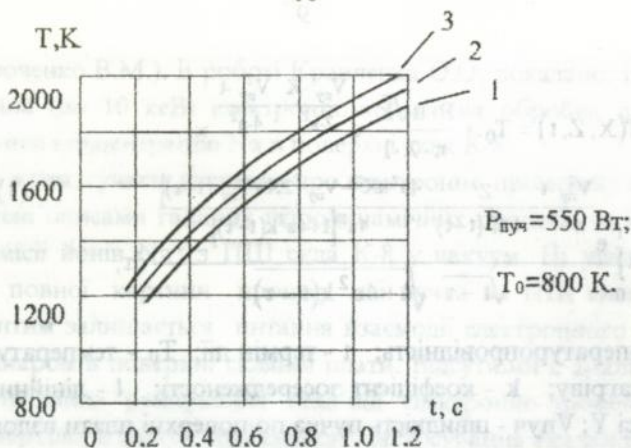


Рис.1 Залежність температури на поверхні плати із К-8 від часу дії рухомого електронного пучка стрічкової форми при різних коефіцієнтах зосередженості пучка: 1- $k=100\text{м}^{-2}$ ; 2- $k=150\text{ м}^{-2}$ ; 3- $k=200\text{ м}^{-2}$

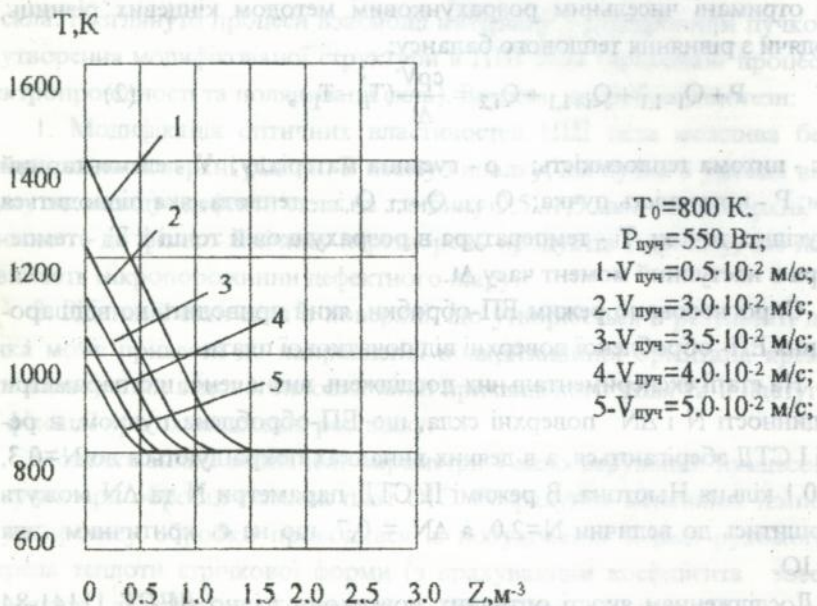


Рис.2. Характер змінення температури по глибині плати із К-8 від дії на її поверхню рухомого електронного пучка

2. В режимі II STD поверхня плати стає чистішою і переходить в клас чистоти P=II, I і P=0, при цьому всі подряпини і крапки ліквідуються.

Про покращення оптичних якостей скла К-8 після двобічної ЕП-обробки поверхні в режимі I STD ( $R_{\text{пит}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$ ,  $V_{\text{пуч}} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ ) свідчить параметр світлорозсіяння  $\sigma_{\text{с}}\%$ , що зменшується в 1,5...1,6 рази. Дані отримано на лазерній установці вимірювання коефіцієнта світлорозсіяння ЛУІР на довжині хвилі  $\lambda = 0,6328 \text{ мкм}$ .

Визначено, що після ЕП-обробки з  $R_{\text{пит}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$  при швидкостях обробки  $V_{\text{пуч}} = (0,5...2) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$  з наступним травленням в розчинах HF, в зоні обробки утворюється матована поверхня (А.С.1827367), а використання масок Ni, Mo дозволяє отримати матований малюнок необхідної конфігурації, або ділянки з розвиненим рельєфом. Такі ділянки пропонується застосовувати як допоміжні поверхні для закріплення плати до корпусу ОІС.

Мікротвердість  $H_w$  поверхні модифікованої пластини при навантаженні 0,1 кг скла  $H_w = 7363$  умовн. од. при початковій мікротвердості  $H_0 = 6941$  умовн. од. (до модифікації), тим самим збільшилась на 6%.

Дослідження впливу електронного пучка на поверхню силікатного скла показали, що II STD приводить до утворення гетероструктури в ПШ плати (рис.3). Електронно-зондовим аналізом встановлено, що при II STD на скло К-8, ТК-21, БК-10 глибина проплавлення  $h_{\text{пр}}$  складає (20...100) мкм і пов'язана з глибиною зони термічного впливу  $h_{\text{т}}$  співвідношенням  $h_{\text{т}} = 2 \cdot h_{\text{пр}}$ .

На рис.4 представлена картина подвійного променезаломлення в прямокутній платі із скла К-8 з маскованою фольгою Ni і ЕП-обробленою ( $R_{\text{пит}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ ,  $V_{\text{пуч}} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ ) поверхнею. Експериментально встановлено, що відпалювання таких плат у вакуумі ( $10^{-2}...10^{-3} \text{ Па}$ ) на протязі 5...6 годин після ЕП-обробки (II STD) не змінює картини подвійного променезаломлення і при діючих напруженнях (рис.5) ресурс надійності таких гетероструктур складає не менше 8 років.

Досліджено можливість зміни показника заломлення скла і експериментально отримані структури з періодичними оптичними властивостями.

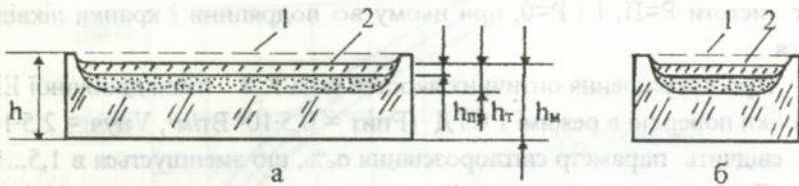


Рис.3. Прямокутна плата ОІС із К-8 з ВП-обробленою поверхнею (П.СТД): а - бокова сторона; б - торець плати.

- 1 - початковий рівень поверхні;
- 2 - рівень обробленої поверхні;
- h - початкова товщина плати;
- h<sub>м</sub> - товщина плати після обробки;
- h<sub>т</sub> - глибина зони термовпливу;
- h<sub>пр</sub> - глибина зони проплавлення.

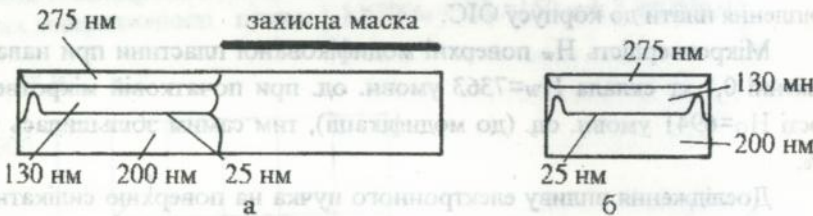


Рис.4. Якісна картина подвійного променезаломлення в прямокутній маскованій платі із К-8: а - бокова сторона; б - торець плати (різниця ходу променів вказана в нанометрах)

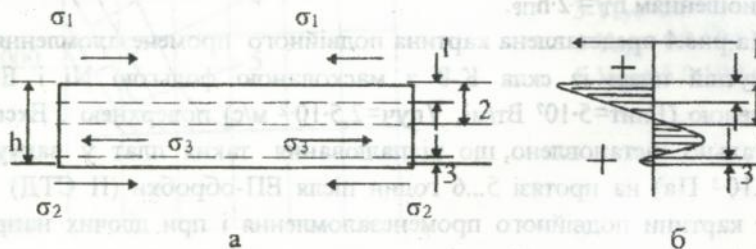


Рис.5. Загальний вигляд діючих напружень в ВП-обробленій прямокутній платі із К-8 (бокова сторона плати): а -  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  - напруження стиснення;  $\sigma_3$  - напруження розтягування; (б) - еюра напружень

ми. В результаті проведених робіт визначені режими і запропоновано спосіб виготовлення каналних оптичних хвильоводів (А.С.1798995) в поверхні силікатного скла ЕП-модифікацією і низькотемпературним йонним обміном з розплаву  $\text{AgNO}_3$ .

Розроблені методики дослідження плат до і після ЕП-обробки дозволяють виявити дефектний шар, заглиблений на 0,5...1,5 мкм від поверхні, оцінити глибину зони термічного впливу  $h_T$  і глибину проплавлення  $h_{пр}$  поверхні, застосувати модифіковану поверхню, як буферну при низькотемпературному йонному обміні  $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ag}^+$  з розплавів, що вміщують  $\text{AgNO}_3$ , отримати відшаровуванням тонкі (0,1...2) мм пластили з поверхнею, обробленою електронним пучком.

Представлена програма і дані незалежних випробувань ЕП-оброблених плат ОІС із силікатного скла, які проведені в різних організаціях України і Росії, підтверджують ефективність запропонованого методу ЕП-обробки в ІО.

При розробці технології об'єкти ЕП-обробки вибрано з умов їх широкого використання в ІО, а саме скло К-8, ТК-21, БК-10 з групи кронів, що вміщують  $\text{SiO}_2$  від 50% до 70% і являють собою пластини прямокутної форми (70x16x6 мм, 60x15x4 мм) та круглі  $d = 20$  мм, товщиною  $h = (2; 4; 6)$  мм, поверхня яких оброблена за методом ГППІ.

Інструмент дії: низькоенергетичний (4...6 кеВ) рухомий електронний пучок стрічкової форми, зформований за допомогою оптики Пірса на базі промислової вакуумної установки УВН-74, максимальні лінійні розміри пучка на поверхні  $(3 \times 90) \cdot 10^{-3}$  м, швидкість руху пучка по поверхні деталі  $V_{пуч} = (0,2 \dots 7,0) \cdot 10^{-2}$  м/с.

Виготовлене технологічне обладнання і застосований термічний цикл (рис.6) забезпечує ЕП-обробку плат ОІС із силікатного скла з покращенням оптичних характеристик їх поверхні.

Наприкінці надані рекомендації щодо підвищення точності і стабільності процесу ЕП-обробки, визначена ефективність застосування вказаного процесу у промисловій сфері.

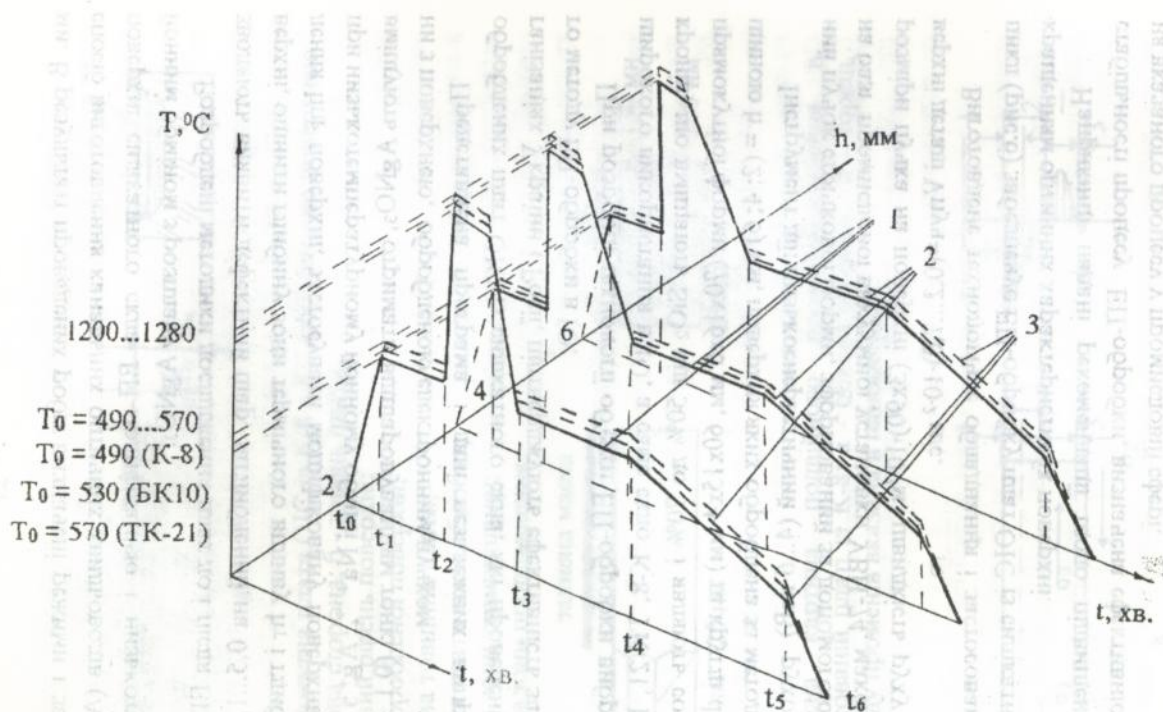


Рис. 6. Повний термічний цикл при ЕП-обробці скляних плат ОІС різної товщини : 1 - К-8; 2 - БК-10; 3 - ТК-21

$t_0 - t_1$  - попередній розігрів;

$t_1 - t_2$  - попереднє відпалювання;

$t_2 - t_3$  - електронно-променева обробка;  $t_3 - t_4$  - відпалювання після ЕП-обробки;

$t_4 - t_6$  - охолодження

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що низькоенергетична електронно-променева обробка кардинально покращує характеристики ПШ плат ОІС з лужно-силікатного скла :

1.1. Плати, які ЕП-оброблені на I STD (без створення рідини на поверхні), зберігають дефектний шар, однак, такий ПШ являється більш однорідним за хімічним складом Si, Na, K, O в порівнянні з початковим, що покращує оптичні характеристики поверхні плати.

1.2. В ЕП-оброблених платах на II STD (із створенням рідини на поверхні) чистота оптичної поверхні Р покращується з Р=III до Р=II, I і Р=0 за рахунок ліквідування дефектів (подряпин, крапок) ; разом з тим ліквідується тріщиновидний шар, що дозволяє зменшити загальні втрати енергії електромагнітної хвилі в елементах ІО більш ніж на 15%.

2. Розроблені оригінальні методики дозволяють:

2.1. Виявляти дефектний шар в поверхні плати глибиною 0,5...1,5 мкм, що утворюється на стадіях обробки ГПП, оцінювати глибину зони термічного впливу по фігурам травлення (А.С.1827367) в ПШ скла після ЕП-обробки.

2.2. Застосовувати ЕП-оброблену поверхню скла як буферну при низькотемпературному йонному обміні для одержання каналних оптичних хвильоводів (А.С.1798995).

2.3. Застосовувати новий миючий розчин для очистки плат ОІС із оптичного скла перед ЕП-обробкою (А.С.1644458).

3. В результаті проведених досліджень вперше встановлено:

3.1. ЕП-оброблена поверхня силікатного скла більш активно (в 1,5...2 рази швидше) розчиняється в розчинах HF, ніж початкова, що дозволяє отримати в поверхні локальні ділянки з розвиненим рельєфом.

3.2. Злами ЕП-обробленого скла К-8, БК-10, ТК-21 мають сліди в'язкого руйнування. При цьому глибина зони проплавлення  $h_{пр}$  пов'язана з глибиною зони термічного впливу  $h_t$  співвідношенням  $h_t = 2 \cdot h_{пр}$ .

3.3. Структурні зміни ПШ скла в результаті ЕП-обробки викликають залишкові напруження в платах. Максимальні розтягуючі  $\sigma_r$  і напруження стиснення  $\sigma_{ст}$  в платі після відпалювання дорівнюють

$\sigma_p = 3,2...3,6$  МПа і  $\sigma_{ст} = 6,2...6,6$  МПа, що відповідає надійному використанню плати на протязі не менше восьми років. Охолодження з швидкістю  $V_{охол} = (12...17)$  К/хв від ЕП-оброблених плат приводить до відшаровування поверхонь у вигляді тонких пластин з товщиною  $(0,1...2)$  мм. Запропоновано використання таких пластин як плат ОІС (їх вага зменшується з 10 г до 1,5 г).

3.4. Термічна і електрична дія пучка на плату ОІС із силікатного скла (II СТД) приводить до створення ламелярної структури, що зорієнтована в напрямку дії пучка.

3.5. ПШ силікатного скла, модифікований електронним пучком, має хвильоводні властивості на довжині хвилі  $\lambda = 0,6328$  мкм.

3.6. ЕП-оброблена поверхня силікатного скла є буферною для низькотемпературного йонного обміну  $Na^+$  з  $Ag^+$  з розплавів  $AgNO_3$ .

4. Встановлено, що параметри поверхні лужно-силікатного скла при ЕП-обробці залежать від : температури попереднього розігріву скла, питомої потужності пучка, швидкості руху пучка по поверхні плати, терміну охолодження плат.

5. Розроблені обладнання і технологія фінішної ЕП-обробки поверхні плат ОІС з оптичного скла К-8, БК-10, ТК-21. Визначені робочі параметри і межі процесу ЕП-обробки скла:

$T_0 = T_g - 40$  - температура попереднього розігріву скла, К;

$P_{пит} = 10^6...5 \cdot 10^7$  - питома потужність пучка, Вт/м<sup>2</sup>;

$V_{пуч} = 2,5...3,5$  - швидкість обробки,  $\times 10^{-2}$  м/с;

$t = 360...390$  - термін охолодження, хв.

Запропоновані шляхи вдосконалення обладнання і процесу ЕП-обробки оптичного скла при широкому використанні в промисловій сфері.

Робота виконувалась в рамках госпдоговірних робіт "Разработка методов полировки плоских и сферических элементов, интегральной оптики высших классов оптической чистоты с микронеровностями менее 5 нм" (шифр "Страда - ЧФ", 1985-1988 гг.; ЦКБ завода "Арсенал", г.Киев); "Разработка элементов интегрально-оптических схем новыми методами на основе электронно-лучевой обработки (шифр "Рожь-ЧФ", 1989-1993 гг., ЦКБ завода "Арсенал" г.Киев); "Разработка технологии и

метрології електронно-лучевої обробки поверхностей оптичних деталей" (проект 6.8-303 ГКНТ України, 1992-1993 гг.).

Результати дисертаційної роботи використані при розробці виробів типу "Маяк", "Бархан", "Альбатрос", ВО "Завод Арсенал" і в проєкті ДКНТ 6.8-303 - замовник ЦКБ "Арсенал".

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ РОБОТАХ:

1. Олейник Ю.А., Канашевич Г.В. Подвижное устройство для ориентации микроскопа при монтаже ГИС. // Передовой производственно-технический опыт.- Серия Т-9, вып. 7.- 1986.-С.22-23.
2. Дубровская Г.Н., Котляр А.В., Божко Н.И., Бутенко Т.И., Канашевич Г.В., Олексенко Н.В.// Исследование межфазных слоев и тонких металлических покрытий на подложках К-8 и К-108 с ЭЛО-поверхностями. Труды Украинского вакуумного общества.-Харьков.-1996.-С.218-222.
3. Дубровська Г.М., Канашевич Г.В., Божко Н.І. // Структура поверхні шарів оптичних матеріалів після електронно-променевого впливу. Збірник наукових праць. Вісник ЧІПІ.- ч.1.- Черкаси.- 1996.-С.67-70.
4. Дубровская Г.Н., Дикая С.В., Жученко М.И., Канашевич Г.В. и др. Раствор для очистки изделий преимущественно из оптического стекла: А.С.1644458 СССР // 1989.
5. Котельников Д.И., Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н. Способ изготовления канальных оптических волноводов: А.С.1798995 СССР // 1991.
6. Дубровская Г.Н., Канашевич Г.В., Веретельник Т.И. Способ получения матированных рисунков на поверхности стекла: А.С.1827367 СССР // 1990.
7. Положительное решение по заявке Канашевича Г.В., Котельникова Д.И., Веретельника Т.И. и др. Устройство для электронно-лучевой полировки изделий: 4941429/21/046728 СССР.
8. Позитивне рішення на видачу патента України по заявці Канашевича Г.В., Поздсева В.С., Ващенко В.А. "Пристрій для електронно-променевого полірування виробів". N93005142 Україна.

9. Канашевич Г.В., Ващенко В.А., Дубровская Г.Н. // Модификация свойств поверхности подложек оптических интегральных схем. Деп. в Укр.ИНТЭИ 25.08.92, N 1322, УК92, 13с.
10. Канашевич Г.В., Конопальцева Л.И., Ващенко В.А. // Низкоэнергетическая электронно-лучевая обработка поверхности стекла и возможности ее использования в технологии ИО, Деп. в ГНТБ Украины 26.07.93, N 1616 - УК93, 10с.
11. Ващенко В.А., Канашевич Г.В. // Использование ленточного электронного луча в технологии получения элементов интегральной оптики. Деп. ВИНТИ "Депонированные научные работы" N 11, 1993, 22с.
12. Ващенко В.А., Канашевич Г.В., Дробот И.И. // Математическое моделирование и расчет теплового воздействия подвижного ленточного электронного луча на подложки оптических интегральных схем. Деп. ВИНТИ "Депонированные научные работы" N 12, 1993, 59с.
13. G.V.Kanashevich, L.I.Konopaltseva, V.A.Vaschenko Gradient structure in optical materials for integrated optics created by electron beam method // F/p.46. 4th European East-West Conference & Exhibition on Materials and Process, ST-PETERSBURG (Russia) October 17-21, 1993.
14. G.V.Kanashevich, L.I.Konopaltseva, V.A.Vaschenko Modeling of optical materials processing process by electron beam methods // F/p.45. 4th European East-West Conference & Exhibition on Materials and Process, ST-PETERSBURG (Russia) October 17-21, 1993.
15. Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н., Ващенко В.А., Лисоченко В.Н., Котельников Д.И. Модификация структуры и свойств зоны термовоздействия при обработке ленточным электронным лучом оптических материалов.- Тез.докл. на IV Всесоюзной конференции "Применение электронно-ионной технологии в народном хозяйстве".- Московский энергетический институт, г.Москва. - 1991- С.171-173.
16. Котельников Д.И., Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н. Изменение свойств оптического стекла после электронно-лучевой обработки.- Тез.докл. II Всесоюзной конференции "Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц".- Уральское отделение Академии наук СССР, институт электрофизики, г.Свердловск, 1991, С.86-88.

## АННОТАЦИЯ

Канашевич Г.В. Электронно-лучевая обработка поверхности стеклянных плат оптических интегральных схем.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.07 - Процессы лазерной и физико-технической обработки. Национальный технический Университет Украины "КПИ", Киев, 1997г.

Исследованы процессы обработки плат ОИС электронно-лучевым методом и механизм формирования поверхностного слоя. Защищаются 18 научных работ, содержащие результаты исследований поверхности изделий интегральной оптики из оптического стекла, параметры которой модифицированы электронно-лучевым методом. Обработка изделий электронным лучом (пучком) производится в двух независимых режимах: без образования расплава в поверхности стекла и с образованием расплава в поверхности стекла.

## ANNOTATION

Kanashevich G.V. Electronic beam modification of glass bases of optic integral chips.

Dissertation for science degree of doctor of technical sciences in speciality 05.03.07 - The processes of laser beam and physical and technical processing. National Technical University of Ukraine "KPI", Kiev, 1997.

The processes of obtaining of modified bases by electronic beam method and the mechanism of surface layer forming are investigated. 18 scientific works are presented, which include results of researching of wares surfaces of integral optics mode of optic glass, modified by electronic beam method. Modification is done in two independent regimes of processing of wares by electronic beam - without forming of path of melting on glass surface and with forming of path of melting on glass surface.

Ключові слова: електронний промінь (пучок), електронно-променева обробка (ЕПО), плата (підложка), оптичне скло, стадії теплової дії (СТД), інтегральна оптика (ІО), оптична інтегральна схема (ОИС).

436089

Ав 37.669

Підписано до друку 22.03.1997. Формат 60x84 1/16. Папір оф.  
Друк оперативний. Ум. др. арк. 1/16. Тираж 100 прим. Зам. N 707

Редакційно-видавничий відділ ЧПІ  
257006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460, 4к.