



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 69602

(13) C2

(51) МПК (2006)

C30B 29/20 (2006.01)

C30B 33/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ САПФІРОВИХ ВІКОН

1

2

(21) 2003098763

(22) 26.09.2003

(24) 17.04.2006

(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.

(72) Вишневський Сергій Дмитрович, Кривонос Євгеній Володимирович, Литвинов Леонід Аркадійович

(73) ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) JP 05271000 A, 19.10.1993

JP 59174599 A, 10.03.1984

EP 0625594 A2, 23.11.1994

EP 0645475 A1, 29.03.1995

(57) Спосіб одержання сапфірових вікон, який включає послідовний відпал заготовок у насичених парах оксиду алюмінію, а потім у вуглецевому газовому середовищі, який **відрізняється** тим, що здійснюють відпал в насичених парах оксиду алюмінію заготовок товщиною $L = 1,67 \cdot \pm 1$ при температурі 1800-2030°C протягом часу:

$$\tau_1 \geq \tau_0 + L^2 \cdot A \cdot \exp(B/T),$$

а потім у вуглецевому газовому середовищі при температурі 1880-1930°C протягом часу:

$$\tau_2 = 0,02 \cdot L^2 / D_{Lmin} \cdot [1 + k \cdot (T - T_{min})]$$

де L - товщина заготовки сапфірового вікна, мм;

l - товщина готового виробу, мм;

τ_1, τ_2 - час ізотермічної витримки відповідної термообробки, години;

τ_0 - час відпалу в насичених парах оксиду алюмінію заготовок товщиною до 3 мм, який гарантує однорідність катіонної розстехіометрії в усьому об'ємі кристала, який дорівнює 5,8 годин;
 $A = 2,24 \cdot 10^{-6}$ година/мм² - передекспоненційний множник;

$B = 19789^\circ\text{C}$;

T - температура ізотермічної витримки, °C;

$L_{min} = 3$ мм - мінімальна товщина заготовки;

$D_{Lmin} = 0,1$ мм²/година - коефіцієнт дифузії фронту аніонної розстехіометрії в заготовках товщиною 3мм;

$k = 0,3331/\text{мм}$ - коефіцієнт пропорційності;

після чого заготовки, які були відпалені, механічно обробляють рівномірно видаляючи з всіх сторін шар матеріалу до необхідної товщини готового виробу.

Винахід, що пропонується, відноситься до області отримання монокристалів сапфіра і виробів з них. Вироби з сапфіру використовуються у якості світловодів, вікон, тому рівень інтегральних оптичних втрат в УФ-області є важливим параметром таких виробів.

Відомий спосіб отримання виробів з сапфіру шляхом термообробки в атмосфері природного газу при тиску $7 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^5$ Па в присутності графіту і температурі 1800...2000°C протягом часу

$$\tau = 1,4 \cdot \frac{L^2}{0,012 \cdot T - 19,6}, \text{ де} \quad (1)$$

δ - товщина радіаційно-зміцненого шара виробу, (мм);

T - температура ізотермічної витримки, (°C);

[а. с. СРСР 1649859, МКИ C30B33/00, 29/20].

Спосіб підвищує стійкість виробів з сапфіру до УФ

- опромінювання, але не зменшує інтегральних оптичних втрат в УФ-області.

Відомий спосіб отримання корундових виробів, зокрема корундових направляючих стержнів, шляхом термообробки в замкнутому об'ємі у вакуумі при залишковому тиску $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па і температурі 1950...1980°C протягом 2...3 годин з подальшим охолодженням до кімнатної температури і додатковою термообробкою в атмосфері водню при тиску $(1,1 \dots 1,3) \cdot 10^5$ Па і температурі 1700...1900°C на протязі 2...3 годин [а.с. СРСР 1476982, МКИ C30B33/00, 29/20]. Спосіб підвищує механічну міцність направляючих вставок, збільшує термін їх служби, але не дозволяє отримати вироби з сапфіру із зниженим рівнем інтегральних оптичних втрат в УФ-області.

Відомий спосіб отримання виробів з монокристалів сапфіру з титаном (тікора), що включає пос-

(13) C2

(11) 69602

(19) UA

лідовний відпал в насичених парах оксиду алюмінію протягом 8...10 годин при температурі 2010...2040°C, а потім в атмосфері аргону з вмістом метану в кількості 10...30% об'ємних при температурі 1750...2030°C при відновному хімічному потенціалі середі відпалу $\varepsilon = -100...-170$ кДж/моль. [Пат Укр. №53469 А МПК7 С30В..33/00, 29/20]. Передплавильний відпал в насичених парах оксиду алюмінію монокристалів тікора поліпшує структурну і оптичну однорідність матеріалу, що відбувається внаслідок руйнування малокутових кордонів блоків і зменшення локальної оптичної неоднорідності кристалу. Насичені пари оксиду алюмінію зменшують початкову розстехіометрію кристалу, сформовану умовами кристалізації. Відпал в насичених парах оксиду алюмінію проводять при температурі не нижче за 2010°C, оскільки термоактивовані процеси нормалізації кристалічної структури навіть при передплавильних температурах протікають з малою швидкістю. При температурі вище за 2040°C може статися аварійний розплав виробів, що відпалюються. Подальший відпал в газовому середовищі, що містить метан, супроводжується насиченням кристалічної матриці аніонними вакансіями і атомами водню. Звичайно, тривалість такого відпалу розраховується так, щоб гарантовано перевести всі іони титану, що знаходяться у кристалічній решітці, у тривалентний стан. Для цього у кристалі формується аніонна розстехіометрія, що приводить до надмірного оптичного поглинання в УФ-області. Таким чином, даний спосіб підвищує променеву стійкість активних лазерних елементів, але не забезпечує зменшення рівня інтегральних оптичних втрат в УФ-області виробів з сапфіру.

Як прототип був вибраний останній з аналогів, тому що він найбільш близький по технічній суті.

В основі даного винаходу поставлена задача отримання виробів з сапфіру, зокрема вікон товщиною 1...10мм, що мають знижений рівень інтегральних оптичних втрат в інтервалі довжин хвиль 200...300нм.

Рішення поставленої задачі забезпечується тим, що спосіб отримання виробів з сапфіру включає послідовний відпал в насичених парах оксиду алюмінію, а потім у вуглецевому газовому середовищі, згідно з винаходом, заготовки виробів товщиною $L = 1,67 \cdot l \pm 1$ відпалюють у насичених парах оксиду алюмінію при температурі 1800...2030°C протягом часу:

$$\tau_1 \geq \tau_0 + L^2 \cdot A \cdot \exp \left(\frac{B}{T} \right), \quad (2)$$

а потім у вуглецевому газовому середовищі при температурі 1880...1930°C протягом часу:

$$\tau_2 = 0,02 \cdot L^2 / D_{L \min} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{L}{L_{\min}} - 1 \right) \right], \quad (3)$$

де

L - товщина заготовки сапфірового вікна (мм);

l - товщина готового виробу (мм);

τ_1, τ_2 - час ізотермічної витримки відповідної термообробки (година.);

$\tau_0 = 5,8$ годин (час відпалу в насичених парах оксиду алюмінію сапфірових вікон товщиною до 3 мм, що гарантує формування однорідної катіонної розстехіометрії);

$A = 2,24 \cdot 10^{-6}$ година/мм² (передекспоненційний множник);

$B = 19789^\circ\text{C}$;

T - температура ізотермічної витримки ($^\circ\text{C}$);

$L_{\min} = 3$ мм (мінімальна товщина заготовки);

$D_{L \min} = 0,1$ мм²/година (коефіцієнт дифузії фронту аніонної розстехіометрії в заготовках товщиною 3мм);

$k = 0,333$ 1/мм (коефіцієнт пропорційності),

після чого відпалені заготовки механічно обробляють, рівномірно видаляючи з усіх сторін шар матеріалу до необхідної товщини готового виробу.

Оптичні втрати включають втрати на поглинання, розсіювання і відбиття. Основний внесок у величину інтегральних оптичних втрат в УФ-області в сапфірових виробках вносить оптичне поглинання. Рівень інтегральних оптичних втрат в діапазоні довжин хвиль 200...300нм можна оцінити, підсумовуючи оптичні втрати на кожній елементарній дільниці діапазону:

$$\eta = \left(1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_{306} d} \right) 100\%, \quad (4)$$

де

η - рівень інтегральних оптичних втрат в діапазоні довжин хвиль 200...300нм, (%);

$n = 16$ - кількість дільниць, на які розбивається оптичний діапазон 200...300нм;

α_i - коефіцієнт оптичного поглинання на i -ої дільниці, (1/см);

α_{306} - коефіцієнт оптичного поглинання на довжині хвилі 306нм, (1/см);

d - товщина дільниці зразка, на якій оцінюється рівень інтегральних оптичних втрат, (см).

Коефіцієнт оптичного поглинання α_{306} враховує оптичні втрати, що залежать від якості поверхні зразка, що вимірюється.

Оптичне поглинання сапфіру в УФ-області (фіг.1) визначається характером і величиною розстехіометрії кристалічної решітки. Під аніонною або катіонною розстехіометрією слід розуміти надлишок відповідних вакансій в кристалічній матриці. Кристали сапфіру, що мають аніонну розстехіометрію, характеризуються вузькою смугою УФ-поглинання з максимумом на 206нм, що приписується [F]-центрам [D.V. Sandrejev, P.A. Arsenjev, Z.G. Mareev et. al. Some defects appearing in corundum doped Al₂O₃-monocrystals as a result of thermal treatment // Kristal and techn. - 1973. Bd.8, H.8. S.957-963., B.D. Lee, I.H. Ir. Crawford Electron centers in single crystals Al₂O₃ // Phys. Rev. B. 1977. V.15, №8. P.4065-4070.]. Кристали сапфіру, що мають катіонну розстехіометрію, характеризуються широкою смугою УФ-поглинання з максимумом на 220нм. Цю смугу приписують перенесенню заряду на іонах неконтрольованої домішки Ti⁴⁺, надмірний позитивний заряд яких компенсують катіонні вакансії кристалічної матриці [E.M. Akul'onok et. al. Diffusion of point defects participating solid-phase chemical reactions (trap diffusion): demonstration for the Ti³⁺→Ti⁴⁺ transition in corundum. // Journal of Solid State Chemistry. - 1978. - V.26,

№1. Р/17-25]. У зв'язку з тим, що в початковій си-
ровині завжди присутні неконтрольовані домішки,
а хімічний потенціал газового середовища при
зростанні монокристалів сапфіру не є оптималь-
ним, вирощені кристали мають надмірне УФ-
поглинання, пов'язане з післяростовою розстехіо-
метрією [Е.В. Кривоносов Окислительно-
восстановительный потенциал среды выращивания
монокристаллов корунда // Функциональные
материалы. 1994. Е.1, №2. С.66-70].

Фізико-хімічна суть методу, що заявляється,
полягає в анігіляції початкової катіонної розстехіо-
метрії і формуванні стехіометричної кристалічної
матриці сапфіру за рахунок її насичення аніонними
вакансіями відпадом кристалу сапфіру протягом
точно відведеного часу. Такі кристалічні решітки
стехіометричного складу володіють зниженням УФ-
поглинанням.

Для виготовлення сапфірових вікон, що воло-
діють зниженням рівнем інтегральних оптичних
втрат в УФ-області, використовуються заготовки
товщиною 3...17мм з номінально чистих монокрис-
талів сапфіру (вміст неконтрольованої домішки не
більше за $3 \cdot 10^{-3}\%$ ваг.), які отримані різними мето-
дами. Характер розстехіометрії кристалу багато в
чому залежить від методу вирощування і визнача-
ється хімічним потенціалом атмосфери кристалі-
зації. У зв'язку з цим заготовки можуть мати різний
характер розстехіометрії. Відпал заготовок в наси-
чених парах оксиду алюмінію приводить до ство-
рення кристалічної решітки з мінімальною мірою
розстехіометрії, яка залежить від змісту неконтро-
льованої домішки. У монокристалах сапфіру, як
правило, присутня неконтрольована домішка ти-
тану, зарядовий стан якої залежить від виду розстехіо-
метрії кристалічної матриці. При відпалі сап-
фіру в насичених парах оксиду алюмінію через
температурне розупорядкування кристалічної ре-
шітки утворюються активаторно-вакансійні ком-
плекси типу $[Ti^{4+}-V_{Al}]$, деяка кількість яких зберіга-
ється після зниження температури та визначає
катіонну розстехіометрію кристалу.

Випалювати заготовки сапфірових вікон в на-
сичених парах оксиду алюмінію необхідно при те-
мпературі 1800...2030°C. Зменшення температури
ізотермічної витримки нижче за 1800°C приводить
до зменшення ефективності дифузійних процесів
що збільшує тривалість технологічного процесу.
Збільшувати температуру ізотермічної витримки
вище за 2030°C небезпечно в зв'язку з можливістю
аварійного розплавлення кристалів, що відпалю-
ють.

На основі експериментальних даних, процес
насичення кристалічної решітки сапфірової загото-
вки катіонними вакансіями при відпалі в насичених
парах оксиду алюмінію з метою створення однорі-
дної катіонної розстехіометрії у всьому об'ємі заго-
товки апроксимується емпіричним виразом:

$$\tau_1 \geq \tau_0 + L^2 \cdot A \cdot \exp \left(\frac{B}{T} \right) \quad (4)$$

Коефіцієнти τ_0 , A , B отримані експеримен-
тальним шляхом.

Подальший відпал катіонно-
розстехіометризованих заготовок у вуглецевому
газовому середовищі супроводжується насичен-
ням кристала аніонними вакансіями та аніонною

розстехіометрією кристалічної решітки. В обмеже-
ному об'ємі заготовки, при певній концентрації ані-
онних та катіонних вакансій, відбувається їх анігі-
ляція. В тій частині об'єму заготовки, де
розстехіометрія змінює свій тип (на межі аніонної
розстехіометрії), кристалічна матриця має стехіо-
метричний склад. В процесі відпалу межа аніонної
розстехіометрії просувається від поверхні криста-
лу в його об'єм. На початковій стадії відпалу кри-
стал має приповерхневий шар з аніонною розстехіо-
метрією та внутрішню область з початковою
катіонною розстехіометрією. Надалі при певній
тривалості відпалу (τ_2) відбувається анігіляція
початковою катіонною розстехіометрії у внутрішній
області заготовки, а в середній її частині форму-
ється стехіометрична кристалічна матриця. При
перевищенні цієї тривалості аніонна розстехіомет-
рія розповсюджується на весь об'єм заготовки.

Відпалювати заготовки у вуглецевому газовому
середовищі необхідно при температурі
1880...1930°C. Коефіцієнт дифузії аніонних вакан-
сій в сапфірі залежить від температури. При виході
температури відпалу за межі вказаного інтервалу
зміниться характер розподілу аніонних вакансій по
перерізу кристалу. Тому неможливо буде отрима-
ти в об'ємі заготовки середню частину стехіометри-
чного складу. Крім того, збільшення температури
відпалу вище за 1930°C супроводжується інтенси-
вним термохімічним травленням сапфіру і приво-
дить до браку заготовок.

Глибина дифузійного поширення фронту ані-
онної розстехіометрії описується виразом [Бокш-
тейн Б.С. Атоми блукають по кристалу. М.: Наука.,
1984. 208с.]:

$$x^2 = 2D_L \cdot \tau_2, \text{ де (5)}$$

x - глибина поширення фронту аніонної розстехіометрії, (мм);

τ_2 - час відпалу, (година.);

D_L - ефективний коефіцієнт дифузії фронту
аніонної розстехіометрії, (мм/година).

Коефіцієнт дифузії аніонних вакансій в сапфірі
при 1880...1930°C змінюється слабо і його можна
вважати постійним в даному інтервалі температур.
Тому ефективний коефіцієнт дифузії фронту ані-
онної розстехіометрії при відпалі у вуглецевому
газовому середовищі за способом, що заявляється,
не залежить від температури.

Процес поширення аніонної розстехіометрії у
сапфірі носить складний характер і його швидкість
залежить від товщини заготовки.

Процес поширення аніонної розстехіометрії у
сапфірі носить складний характер і його швидкість
залежить від товщини заготовки. Встановлено ем-
піричний вираз для визначення ефективного кое-
фіцієнту дифузії D_L в інтервалі температур
1880...1930°C:

$$D_L = D_{Lmin} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{L}{L_{min}} \right)^n \right] \quad (6)$$

Коефіцієнти D_{Lmin} та k отримані експеримен-
тальним шляхом.

Експериментально встановлено, що за час
формування в обмеженому об'ємі заготовки кри-
сталічної матриці стехіометричного складу глибина

поширення фронту аніонної розстехіометрії становить $0,2 \cdot L$. Тоді вираз (5) приймає вигляд:

$$(0,2 \cdot L^2) = 2D_L \cdot \tau_2 \quad (7)$$

Підставляючи вираз (6) в (7), можна визначити тривалість відпалу при температурі 1880...1930°C, необхідну для формування усередині заготовки обмеженого об'єму кристалічної матриці стехіометричного складу:

$$\tau_2 = 0,02 \cdot L^2 / D_{L \min} \cdot [1 + k \cdot (T - T_{\min})] \quad (8)$$

Сапфірові заготовки, які відпалені послідовно в насичених парах оксиду алюмінію і у вуглецевому газовому середовищі протягом часу, розрахованого по формулах (2, 3), мають характерний розподіл оптичного поглинання на довжині хвилі 206 нм по перерізу заготовки (фіг.2).

Після відпалу з усіх боків заготовок необхідно видалити приповерхневий шар товщиною не менше за $0,2 \cdot L$, що має надмірне УФ-поглинання.

На фіг.1 приведено характерний спектр поглинання сапфіру з різною розстехіометрією: а - аніонна розстехіометрія, б - катіонна розстехіометрія.

На фіг.2 приведено розподіл оптичного поглинання на довжині хвилі 206 нм по поперечному перерізу заготовки сапфірового вікна товщиною L , яке відпалено у вуглецевому газовому середовищі.

У таблиці 1 наведено приклади реалізації технологічних режимів способу, що пропонується: T_1 , τ_1 - температура та тривалість відпалу в насичених парах оксиду алюмінію; T_2 , τ_2 - температура та тривалість відпалу у вуглецевому газовому середовищі.

У таблиці 2 приведено спектр оптичного поглинання сапфірового вікна товщиною 10 мм.

Для виготовлення сапфірового вікна діаметром 30 мм та товщиною 6 мм спосіб, що пропонується, реалізують таким чином. Сапфірові заготовки діаметром 34 мм і товщиною 10 мм завантажують в замкнений корундовий контейнер, бічна оболонка якого виконана із спеченого оксиду

алюмінію пористістю не менше за 60% [а. с. СРСР 591210, МКИ В01J17/00, С21D1/00]. Корундовий контейнер із заготовками вміщують в молібденовий контейнер, на дні якого знаходиться шар 15 мм корундових гранул діаметром 2...4 мм - джерело насиченого пару оксиду алюмінію. Молібденовий контейнер із заготовками вміщують у вакуумну піч СШВЛ 1.2,5/25, робочий простір якої відкачують до залишкового тиску $13 \cdot 10^{-3}$ Па. Піч нагрівають зі швидкістю 400°C/година до температури 1950°C і заготовки відпалюють протягом часу, розрахованому по вираженню (2):

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_0 + L^2 \cdot A \cdot \exp(B/T) = \\ &= 5,8 + 102 \cdot 2,24 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(9789/1900) = 11,5 \end{aligned}$$

годин.

Після ізотермічної витримки температуру у печі знижують зі швидкістю 250°C/година до 800°C. Потім вимикають нагрів і піч інерційно остигає до кімнатної температури. Після цього заготовки сапфірових вікон витягують із вакуумної печі і, помістивши у відкритий молібденовий контейнер, завантажують їх в піч з графітовим нагрівником. Робочий простір завантаженої печі відкачують до залишкового тиску 66 Па. Заготовки в печі нагрівають зі швидкістю 350°C/година до температури 1900°C та ізотермічно відпалюють у відновному середовищі протягом часу, розрахованому по виразу (3):

$$\begin{aligned} \tau_2 &= 0,02 \cdot L^2 / D_{L \min} \cdot [1 + k \cdot (T - T_{\min})] = \\ &= 0,02 \cdot 102 / 0,1 \cdot [1 + 0,333 \cdot (1900 - 3)] = 6 \end{aligned}$$

Далі температуру у відпалювальному просторі знижують зі швидкістю 250°C/година до повного охолодження печі. Після термообробки з усіх боків заготовки шліфуванням видаляють шар матеріалу товщиною 2 мм, а потім робочі площини полірують. Таким чином отримується сапфірове вікно діаметром 30 мм і товщиною 6 мм з інтегральним рівнем оптичних втрат на 1 мм товщини виробу в діапазоні довжин хвиль 200...300 нм, який дорівнює 2,9%.

Приклади при інших режимах параметрів, що заявляються, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

№ п/п	Товщина за- готівки, мм	Відпал у насичених парах Al_2O_3		Відпал у вуглецевому газовому середовищі		Товщина готового виробу, мм	Інтегральні оптич. втра- ти 1мм товщини виробу, %
		T_1 , °C	τ_1 , час.	T_2 , °C	τ_2 , час.		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	1800	7	1880	1,8	1	2,9
2	3	1800	4	1880	1,8	1	8,9 (недопустимо великі оптич. втрати)
3	3	1750	7,4	1880	1,8	1	7,4 (недопустимо великі оптич. втрати)
4	3	2030	6	1880	1,8	1	3,3
5	3	2030	3	1880	1,8	1	7,6 (недопустимо великі оптич. втрати)
6	3	2045	6	Підплавлення заготівки			
7	3	1950	6,3	1880	1	1	6,8 (недопустимо великі оптич. втрати)
8	3	1950	6,3	1880	3	1	5,9 (недопустимо великі оптич. втрати)
9	3	1950	6,3	1800	1,8	1	8,6 (недопустимо великі оптич. втрати)
10	3	1950	6,3	1930	1,8	1	3,5
11	3	1950	6,3	1930	1	1	5,7 (недопустимо великі оптич. втрати)
12	3	1950	6,3	1930	3	1	7,1 (недопустимо великі оптич. втрати)
13	3	1950	6,3	1980	1,8	1	6,9 (недопустимо великі оптич. втрати)
14	10	1950	11,5	1900	6	6	2,5
15	10	1950	11,5	1900	6	3	1,8 (великий відхід мате- ріалу)
16	10	1950	11,5	1900	6	8	6,1 (недопустимо великі оптич. втрати)
17	17	1950	22,3	1900	10,2	10	4
18	20	1950	28,7	1900	12	10	9,3 (недопустимо великі оптич. втрати)
19	Прототип (термообробка сапфірового вікна товщиною 6мм по способу Пат Укр. №53469)						8,5 (недопустимо великі оптич. втрати)

Приводимо розрахунок величини інтегральних оптичних втрат на 1мм товщини виробу в діапазоні довжин хвиль 200...300нм:

Сапфірове вікно товщиною 10мм (табл.1 №17), яке було отримано у результаті обробки по методиці винаходу, мало спектр оптичного поглинання, наведений у таблиці 2.

Визначення інтегральних оптичних втрат на 1мм товщини виробу в діапазоні довжин хвиль 200...300нм проводять за спектром його оптичного поглинання, Використовуючи вираження (4) обчи-

слили величину інтегральних оптичних втрат на 1мм товщини виробу в діапазоні довжин хвиль 200...300нм:

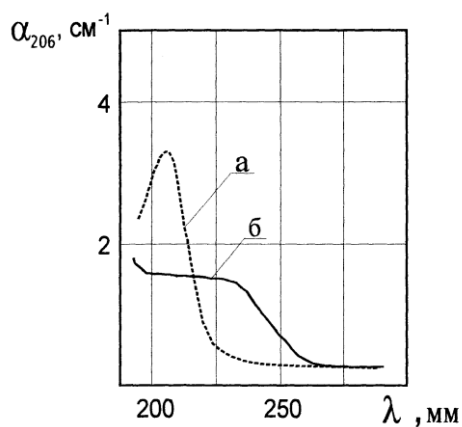
$$\eta = [1 - 1/16 \cdot (1/e^{(1,17-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,99-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,83-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,71-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,66-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,62-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,50-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,46-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,37-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,27-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,2-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,16-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,07-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,05-0,02) \cdot 0,1} + 1/e^{(0,04-0,02) \cdot 0,1})} \cdot 100\% = 4\%$$

Таблиця 2

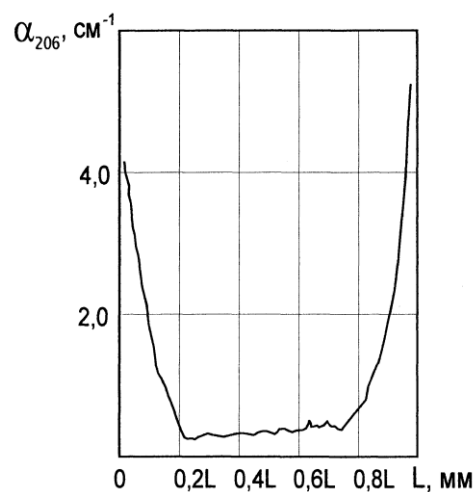
Довжина хвилі (λ), нм	Коеф. оптич. поглинання (α), 1/см	Довжина хвилі (λ), нм	Коеф. оптич. поглинання (α), 1/см
200	1,17	256	0,27
206	0,99	263	0,20
213	0,83	269	0,16
219	0,71	275	0,07
225	0,66	281	0,05
231	0,62	288	0,04
238	0,50	294	0,04
244	0,46	306	0,02
250	0,37		

Як видно з таблиці 1, оптимальними є режими, описані в прикладах 1, 4, 10, 14, 17. Таким чином, режими, які обмежені границями параметрів, що заявляються, забезпечують рівень інтег-

ральних оптичних втрат в інтервалі довжин хвиль 200...300нм (з розрахунку на 1 мм товщини виробу) 1,8...4%.



Фігура 1



Фігура 2