

## Характеристики діелектричних плівкових хвильоводів

Інтегральна оптика (ІО) - це оптика тонких плівок. Технологія виготовлення елементів ІО схожа з технологією виготовлення елементів мікроелектроніки.

Основне призначення елементів інтегральної оптики - різні функціональні перетворення сигналів: модуляція, перемикання каналів, створення мультиплексорів і демультіплексорів, пристроїв, що випромінюють і фотоприймальних пристроїв. Інтегральні елементи застосовуються також у ВОД для виміру фізичних величин, у ВОЛЗ, в оптичних обчислювальних машинах.

Переваги ІО:

- мінімальні габарити;
- більш низькі керуючі напруги;
- менше споживання потужності;
- більша надійність.

Основою ІО є діелектричний хвильовод, схема якого показана на рис.1.

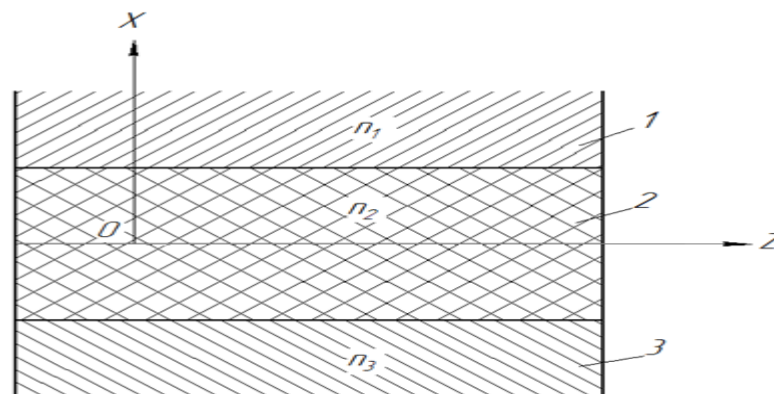


Рис.1. Діелектричний хвильовод: 1 – захисний шар; 2 – діелектричний хвильовод; 3 – підкладка;  $n_1$ ,  $n_2$  і  $n_3$  - показники заломлення захисного шару, хвильоводу й підкладки відповідно

Якщо припустити, що плівка хвильоводу не обмежена по координаті  $Z$  і у хвильоводі поширюється плоска хвиля уздовж осі  $Z$  з сталою поширення  $\beta$ , то зміна напруженості електричного поля по координатах  $X$  і  $Y$  для

кожного з прошарків 1–2–3(покриття – плівка - підкладка) визначається співвідношенням:

$$\frac{\partial^2 E(x, y)}{\partial x \cdot \partial y} + (k^2 \cdot n_i^2 - \beta^2) \cdot E(x, y) = 0, \quad (1)$$

де  $n_i$  – параметр, що характеризує значення показника заломлення в першому, другому і третьому прошарках;

$k$  – хвильове число;

$\beta$  – стала розповсюдження.

Стала розповсюдження залежна від того, під яким кутом випромінювання розповсюджується стосовно осі хвильовода. Аналогічне рівняння можна записати також для зміни напруженості магнітного поля. При цьому в співвідношенні (1) необхідно замінити параметр  $E$  на  $H$ .

Розв'язанням цього рівняння є або синусоїдальні, або експоненційні функції в кожній з областей залежно від співвідношення між  $k^2$ ,  $n_i^2$  і  $\beta^2$ .

На рис.2 показані різні типи мод, що поширюються в структурі інтегральної схеми згідно з співвідношенням (1).

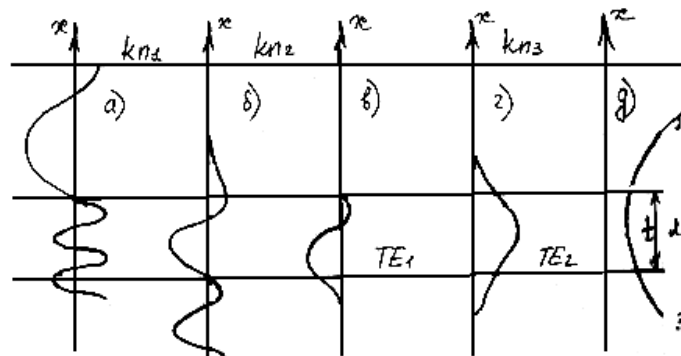


Рис.2. Типи мод, що поширюються в структурі інтегральної схеми:

а - радіаційна повітряна мода; б - радіаційна мода підкладки; в - утримувана у світловоді мода; г - нереалізована мода; д - нестабільна мода;  $t$  – товщина діелектричної плівки

Число підтримуваних у хвильоводі мод залежить від товщини діелектричного хвильовода, від співвідношень показників заломлення  $n_1$ ,  $n_2$  і  $n_3$ . Для хвильовода, так само як і для світловода, існує частота відсічення електромагнітного випромінювання  $\nu_c$ , нижче якої втрачаються хвильові властивості плівки, що дорівнює:

$$\nu_c = \frac{c}{\lambda} \Gamma \zeta \quad . \quad (2)$$

З співвідношення (2) може бути знайдена довжина хвилі зрізу  $\lambda_3$ .

При роботі з певною довжиною хвилі випромінювання для забезпечення поширення необхідної кількості мод необхідно підбирати показники заломлення середовищ  $n_1$ ,  $n_2$  і  $n_3$ .

Якщо  $n_1 = 1$  (над хвильоводом повітря), то різниця показників заломлення  $\Delta n$  між підкладкою і плівкою повинна бути:

$$\Delta n = n_2 - n_3 \geq \frac{(2m-1)^2 \cdot \lambda^2}{32n_3 \cdot t^2} \quad , \quad (3)$$

де  $m$  – кількість мод, розповсюджуваних у хвильоводі;

$t$  – товщина хвильовода;

$\lambda$  – довжина хвилі випромінювання, що поширюється у хвильоводі.

Якщо як підкладку використовувати арсенід галія (GaAs), для якого  $n_3 = 3,6$ , а  $n_1 = 1$  і товщина плівки  $t = \lambda$ , то для  $m=1$ , отримаємо  $\Delta n \approx 10^{-2}$ .

Чим менша товщина плівки, тим більша частина енергії розповсюджується за межами хвильовода, тому вводять поняття ефективної товщини хвильовода. Ефективна товщина хвильовода це та товщина, у межах якої поширюється 99% всієї енергії:

$$t_{\text{еф}} = 2r + r_1 + r_2 \quad , \quad (4)$$

де  $2r$  – реальна товщина плівки;

$r_1, r_2$  – відстань зверху й знизу хвильовода, при яких енергія зменшується в  $e$  разів стосовно максимальної.

Існує мінімум ефективної товщини хвильовода, що дорівнює:

$$t_{\text{эф}h_{\text{min}}} = 0,7 \cdot \lambda_3 (n_2^2 - n_3^2)^{\frac{1}{2}} \quad . \quad (5)$$

Якщо підкладка GaAs на довжині хвилі  $\lambda_3 = 1,3$  мкм, ефективна мінімальна товщина плівки повинна становити  $t_{\text{эф}} \gg 3,5$  мкм.

При розробці пристроїв ІО існує ряд принципових обмежень. Перше обмеження пов'язане з мінімально можливою товщиною плівки, що повинна задовільняти нерівності:

$$h \geq \frac{\lambda}{2} \cdot (n_2^2 - n_3^2)^{\frac{1}{2}} \quad . \quad (6)$$

Якщо взяти  $\lambda = 0,8 \dots 1,6$  мкм, то мінімально можлива товщина плівки  $h_{\text{min}} \geq 0,8 \dots 1$  мкм.

Для ефективного керування схемами необхідно забезпечити взаємодію пучка випромінювання з керуючим полем на певній довжині  $L$  (друге обмеження):

$$L \geq \frac{\lambda}{2} \cdot \Delta n \quad , \quad (7)$$

де  $\Delta n$  – зміна показника заломлення під дією електричного поля.

Одна з основних проблем ІО - це проблема матеріалів. При виборі матеріала враховують наступні властивості:

- акустооптичні;
- електрооптичні;
- якість хвильовода;
- можливість інтеграції з джерелом випромінювання;
- можливість інтеграції з приймачем випромінювання;
- можливість інтеграції з електронними керуючими схемами;
- складність технології.

Всі схемонесучі матеріали ІО можуть бути розбіті на три класи:

- 1) монокристали;
- 2) полікристали;
- 3) аморфні матеріали.

У монокристалах використовують акустооптичні і електрооптичні ефекти, але як хвильоводи вони погані (велике поглинання).

Для створення лазерних структур застосовують наступні композиції матеріалів:

$Ga_{0,47}In_{0,53}As / Al_{0,48}In_{0,52}As$  для лазера на довжині хвилі  $\lambda = 1,3$  мкм;

$Ga_{0,43}Al_{0,04}In_{0,53}As / Al_{0,48}In_{0,52}As$  для лазера на довжині хвилі  $\lambda = 1,65$  мкм.

Для фотоприймальних пристроїв беруться ті ж композиції з іншим процентним складом компонентів.

Як полікристали застосовують матеріали  $ZnO, Al_2O_3$ . У цих матеріалах краще реалізується електрооптичний ефект. На базі цих матеріалів роблять модулятори, перемикачі, спрямовані відгалужувачі. До таких матеріалів також належить і п'єзокераміка (ЦТСЛ).

Аморфними матеріалами є різні стекла, нітрит кремнію, фотохромні матеріали. В основному такі матеріали застосовуються для виготовлення хвильоводів.