

Тема 7. Технологія виготовлення ІО- хвелеводів.

Лекція 7.

Базові технології виготовлення ІО- хвелеводів в склі та ніобаті літію. Метод епітаксiального вирощування напівпровiдникових активних матерiалів.

Виготовлення iнтегрально-оптичних хвелеводів. Осаджування тонких плівок, термічна дифузія, метод епітаксiального вирощування напівпровiдникових активних матерiалів. Виготовлення хвелеводів методом окислення кремнію. Технологічні прийоми створення пристроїв на основі iнтегрально-оптичних (ІО) структур.

Тонкоплівкові покриття.

Можна використати кремнієву мішень у присутності аміаку до утворенню нітриду кремнію у відповідності з реакцією



Напруга зміщення, яка подається на анод та катод, може бути як постійною так і високочастотною з постійною складовою.

Методи, що ґрунтуються на використанні заміщуючи атомних домішок.

При умові, що титанова плівка повністю про дифундувала в кристал, відносна концентрація титану як функція глибини y запишеться у вигляді

$$C(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\tau}{d} \exp\left[-\frac{y^2}{d^2}\right] \quad (2)$$

де τ - товщина вихідної титанової плівки, а d - ефективна глибина дифузії. Остання величина залежить від температури дифузії T , температури активації T_0 та коефіцієнта об'ємної дифузії D_0 наступним чином:

$$d = 2(Dt)^{1/2} \quad (3)$$

де $D = D_0 \exp(-T_0 / T)$. Величини D_0 та T_0 визначаються складом кристалу ніобату літію. Для комбінації $LiNbO_3$ (48.6 молярних % Li_2O) вказані значення складають $T_0 \approx 2.5 \cdot 10^4 K$ та $D_0 = 2.5 \cdot 10^{-4} cm^2 / c$.

максимальна зміна показника заломлення визначається параметром

$$\Delta n_p \propto \frac{\tau}{d} \operatorname{erf}\left[\frac{w}{2d}\right] \quad (4)$$

де w - ширина титанової смужки, а erf - інтеграл помилок.

Хвелеводи, що виготовлені шляхом зменшення концентрації носіїв
вираз для зменшення показника заломлення матеріалу, що викликано заданою концентрацією (у $1 cm^3$) вільних носіїв N

$$\Delta \varepsilon / \varepsilon_0 = 2n\Delta n = -\omega_p^2 / \omega^2 = -Ne^2 / \varepsilon_0 m^* \omega^2 \quad (5)$$

де ω_p - плазмова частота, m^* - ефективна маса носіїв.

для показника заломлення того самого матеріалу, але у присутності N носіїв (у 1 см^3) має місце наступний вираз:

$$n = n_0 - (Ne^2 / 2n\varepsilon_0 m^* \omega^2) \quad (6)$$

Таким чином, різниця у показнику заломлення шару, що проводить світло, з концентрацією (у 1 см^3) носіїв N_2 та обмежуючого шару з концентрацією (у 1 см^3) носіїв N_3 має вигляд

$$\Delta n = n_2 - n_3 = (N_3 - N_2)e^2 / 2n_2\varepsilon_0 m^* \omega^2 \quad (7)$$

де $N_3 > N_2$ і вважається, що $n_2 \approx n_3$.

хвильоводи асиметричного типу ($n_1 \ll n_2, n_3$).

різницю у концентрації носіїв, що необхідна для забезпечення пропускання моди нижчого порядку ($m = 0$) дається наступним виразом:

$$N_3 - N_2 \geq \varepsilon_0 m^* \omega^2 \lambda_0^2 / 16e^2 t_g^2 \quad (8)$$

Оскільки $\omega = 2\pi\nu$ та $\nu\lambda_0 = c$, то вираз (8) можна переписати у вигляді

$$N_3 - N_2 \geq \pi^2 c^2 \varepsilon_0 m^* / 4e^2 t_g^2 \quad (9)$$

Щоби виготовити працездатні ОІС, ефективні енергії заборонених зон для поглинання та випромінювання необхідно так рознести по різних елементах схеми, щоби

$$E_g \text{ хвильоводу} > E_g \text{ випромінювача} > E_g \text{ детектору} \quad (10)$$

Криві, що приведені на **рис. 9**, отримані шляхом зсуву експериментально вимірюваної границі поглинання $GaAs$, на величину, що відповідає зміні ширини забороненої зони, розрахованої згідно з:

$$E_g(x) = 1/439 + 1/042x + 0/468x^2 \quad (11)$$

де x - доля атомів Al у $Ga_{1-x}Al_xAs$.

Збільшення концентрації Al у $Ga_{1-x}Al_xAs$ призводить до зменшення показника заломлення. Відповідна залежність показана на **рис. 10**. вона описується кривою рівняння Селмейєра

$$n^2 = A(x) + \{B / [\lambda_0^2 - C(x)]\} - D(x)\lambda_0^2 \quad (12)$$

де x - доля атомів Al у $Ga_{1-x}Al_xAs$, а A, B, C, D - функції x .

Хвильоводи на основі електрооптичного ефекту.

Зміна показника заломлення для конкретної орієнтації кристалічної решітки, що показана на **рис. 12**, та для хвилі TE дається наступним виразом:

$$\Delta n = n^3 r_{41} (V / 2t_g) \quad (13)$$

де n - показник заломлення матеріалу у відсутності електричного поля, V - величина прикладеної напруги, t_g - товщина збідненого шару, а r_{41} - компонента електрооптичного тензору, що відповідає обраній орієнтації та електричного поля.