

Електрооптична модуляція

У деяких кристалах спостерігається зміна показників заломлення прямо пропорційно величині прикладеного електричного поля. Дане явище називається лінійним електрооптичним (ЕО) ефектом або ефектом Покельса. Електрично наведене двозаломлення призводить до відносної фазової затримки ортогонально поляризованих компонент лінійно поляризованого світлового пучка залежно від величини прикладеної до кристала напруги. У загальному випадку це описується тензором електрооптичних коефіцієнтів і призводить до досить громіздких виразів. Проте у багатьох випадках обчислення спрощуються завдяки симетрії кристала і спеціальному вибору напрямів електричного поля і поширення світла відносно осей кристала.

На практиці застосовуються дві основні конфігурації.

У подовжній конфігурації світловий пучок і електричне поле паралельні. Наприклад, в широко вживаних кристалах KDP (KH_2PO_4) і DKDP (KD_2PO_4) при поширенні світла уздовж оптичної осі фазова затримка пропорційна напрузі U , прикладеній до кристала. Цей випадок називається фазовою модуляцією. Якщо помістити кристал між двома схрещеними поляризаторами, вихідна інтенсивність підкорятиметься закону Малюса $I = I_0 \sin^2(\Gamma/2)$, тобто вихідна інтенсивність модулюється прикладеною напругою і в даному випадку говорять про амплітудну модуляцію. Максимальна вихідна інтенсивність досягається, коли фазова затримка рівна $\lambda/2$ (половина довжини хвилі). Можна відмітити, що відповідна напруга $U_{\lambda/2} = \lambda/2 * n_o^3 r_{63}$, тобто визначається лише довжиною хвилі і властивостями матеріалу. У зв'язку з цим $U_{\lambda/2}$ або напівхвильову напругу часто використовують як параметр, що характеризує ефективність матеріалу для ЕО модуляції. Повздовжна конфігурація використовується при модуляції широкоапертурних світлових пучків і до цих пір широко застосовується для кристалів KDP і DKDP. Але використання цих кристалів пов'язано з високою напругою управління (до 10 кВт), а також з технічними складнощами

нанесення прозорих провідних електродів та спеціальних кільцевих електродів для формування подовжнього електричного поля. Також існує необхідність захисту цих гігроскопічних кристалів від атмосферної вологи.

У поперечній конфігурації електричне поле перпендикулярне світловому пучку, що забезпечується нанесенням електродів на дві бічні грані кристала. В цьому випадку фазова затримка визначається не лише прикладеною напругою, але також і геометрією кристала. На додаток до простішої конструкції електродів поперечна конфігурація дозволяє понизити управляючу напругу, в число разів, яке визначається відхиленням довжини кристала L до його апертури d (відстань між електродами). Тому поперечна модуляція широко застосовується для ряду кристалів, таких, як LiNbO_3 , LiTaO_3 , ВВО, КТР.

ЕО кристал, необхідним чином орієнтований, відполірований, з нанесеними просвітляючими покриттями і електродами і змонтований в спеціальну комірку з виводами для підключення управляючої напруги, інколи з додаванням поляризаційних елементів (призма Глана або фазова пластина) називається коміркою Покельса. Для оптимального вибору кристала для такої комірки слід брати до уваги багато параметрів: робочий діапазон довжин хвиль, оптичну потужність, діапазон керуючої напруги, частота модуляції, діелектричні втрати та ін. Кристали LiNbO_3 і LiTaO_3 є негігроскопічними, хімічно і механічно стабільними матеріалами з можливістю вирощування кристалів оптичної якості і великих розмірів при помірній вартості. Але на практиці виникають обмеження, пов'язані з ємністю комірки і проблемами створення відповідних генераторів керуючої напруги (драйверів) для роботи на високих частотах (до 1 ГГц). Слід мати на увазі, що ЕО коефіцієнти зменшуються на високих частотах. До недоліків, що певною мірою обмежують вживання LiNbO_3 у комірках Покельса відноситься порівняно невисока променева міцність (близько 250 МВт/см^2 $\lambda = 1064 \text{ нм}$, 10 нс), а також наявність значного п'єзоефекту в цьому

кристалі, що наводить до необхідності демпфування механічних резонансів ЕО комірки.

Останнім часом для модуляції добротності твердотілих лазерів з високою імпульсною потужністю успішно застосовується кристал $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (ВВО). Але кристал характеризується деякою гігроскопічністю, а також значною напівхвильовою напругою, що призводить до обмежень при його практичному використанні.

У таблиці 1 представлені порівняльні характеристики кристалів для ЕО модуляції.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики кристалів для електрооптичної модуляції

Кристал	Область прозорості, мкм	Напівхвильова напруга, кВ ($\lambda=0,633$ мкм)	Гігроскопічність
KH_2PO_4	0,2 – 1,2	8,1	+
KD_2PO_4	0,2 – 1,4	3,4	+
LiNbO_3	0,3 – 5,5	3,0	-
$\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$	0,19 – 3,2	14,0	+
KTiOPO_4	0,3 – 4,5	0,366	-

Експериментальна установка для вимірювання напівхвильових напруг представлена на рисунку 1.

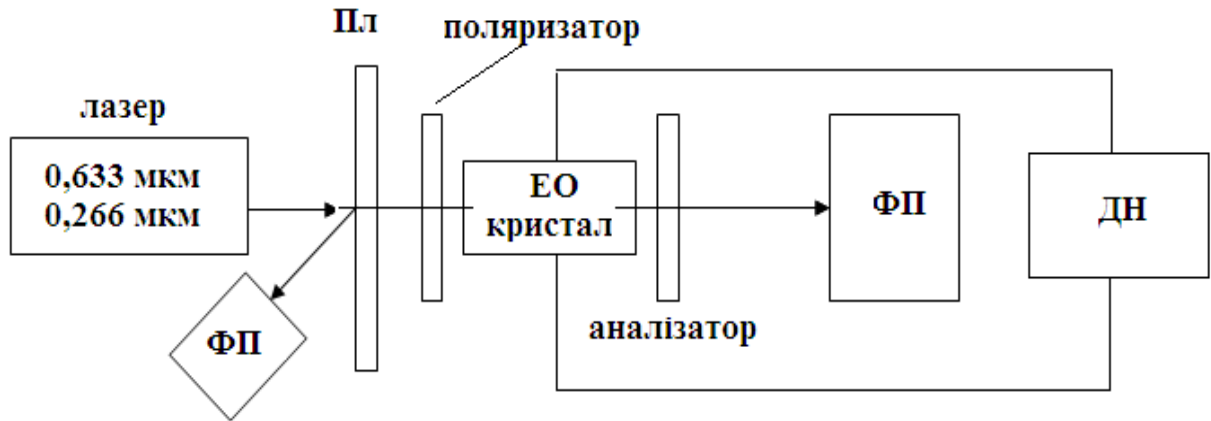


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для дослідження електрооптичних властивостей кристалів: ФП – фотоприймач; ЕО кристал – електрооптичний кристал; ДН – джерело напруги; Пл – світловідбиваюча пластина.

Для вимірювань були виготовлені зразки розмірами 4×4×8 мм. У якості випромінювачі використовувалось випромінювання He-Ne лазеру ($\lambda=0,633$ мкм) та четверта гармоніка АГ лазеру ($\lambda=0,266$ мкм).

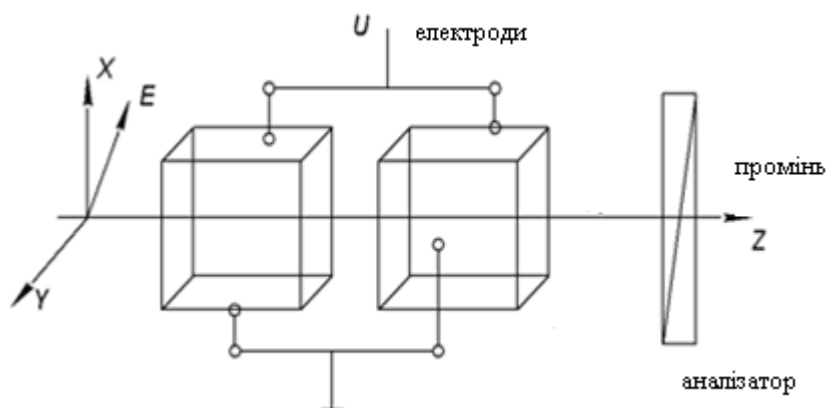
Величина напівхвильової напруги визначалась наступним чином:

$$I_1 = I_0 \sin^2 \left[\frac{\pi V}{2V_{\frac{\lambda}{2}}} \right], \quad (1)$$

де, I_1 – інтенсивність випромінювання на виході системи, I_0 – інтенсивність випромінювання на вході системи, V – напруга, прикладена до зразка.

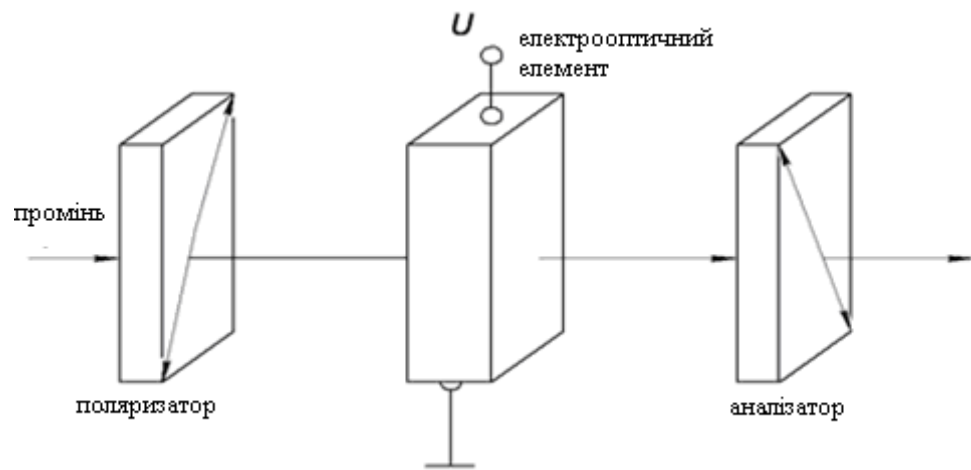
Схема модуляції випромінювання

Розташування і кількість оптичних елементів в електрооптичному затворі може бути різне, так при використанні парного числа електрооптичних кристалів у комірці Поккельса не встановлюється вхідна поляризаційна призма. Оптичні осі двох сусідніх електрооптичних кристалів орієнтовані ортогонально один до одного, як показано на рисунку 2. При такому розташуванні кристалів різниця фаз між звичайною і незвичайною хвилями, що виникає при проходженні першого кристала, компенсується в другому кристалі. Тому фазове зрушення між цими хвилями після проходження всіх електрооптичних кристалів визначатиметься лише анізотропією, зумовленою ефектом Поккельса. В цьому випадку для здобуття фазового зрушення подається півхвильова напруга $U_{\lambda/2}$.



Рисунком 2 = Оптична схема електрооптичного модулятора при використанні парного числа електрооптичних кристалів.

В модуляторі з одним електрооптичним кристалом фазове зрушення між звичайною і незвичайною хвилями створюється за рахунок природної анізотропії кристала і анізотропією обумовленою ефектом Поккельса, як показано на рисунку 3. Орієнтація входу поляризатора та входу аналізатора взаємно перпендикулярні. Тому в даному випадку для здобуття фазового зрушення подається чверть хвильова напруга $U_{\lambda/4}$.



Рисункок 3 - Оптична схема електрооптичного модулятора при використанні одного електрооптичного кристала.

Комбінаційне розсіяння світла

Процес поглинання світла як правило зворотний процесу випромінювання. Тому що в молекулах є коливально-обертальна структура рівнів

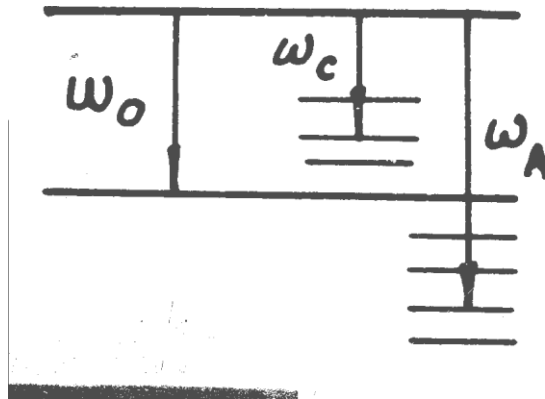


Схема переходів при комбінаційному розсіянні світла.

то після поглинання світла молекула збуджується і випромінює, і відбуваються переходи як на основний рівень, так і на коливально-обертальні рівні:

$$\omega_0 \rightarrow \omega_0$$

$$\omega_c \rightarrow \omega_0 - \omega_\phi \text{ (стоксовська лінія)}$$

$$\omega_A \rightarrow \omega_0 + \omega_\phi \text{ (антистоксовська лінія)}$$

при стоксовських переходах частина енергії випромінювання переходить до квантів теплових коливань, а антистоксовські переходи виникають при зворотній перекачці коливальної теплової енергії в випромінювання. Короткохвильова область спектру розсіювання називається антистоксовською, а довгохвильова – стоксовською.

Генерація гармонік лазерного випромінювання у нелінійно-оптичних кристалах

Сучасна лазерна техніка знаходить все більше застосування у різних областях науки, техніки, медицини. Розширення діапазону джерел лазерного випромінювання є одним з основних завдань лазерної фізики. Вирішити це завдання багато в чому дозволяє застосування перетворювачів частоти, виготовлених з нелінійно-оптичних кристалів. Отримання в 80-х роках минулого сторіччя таких кристалів, як KTiOPO_4 (КТР), RbTiOPO_4 (RTP) β - BaB_2O_4 (ВВО), LiB_3O_5 (LBO), CsB_3O_5 (СВО), CsLiB_3O_6 (CLBO) не тільки дозволило розширити діапазон випромінювання різного типу лазерів, але і послужило поштовхом для відкриття нових напрямів досліджень в нелінійній оптиці.

Процес генерації оптичних гармонік – одне із найбільш відомих явищ, що виникає при проходженні через середовище потужного світлового випромінювання. Таким випромінюванням є випромінювання лазерів, а найбільш ефективним середовищем для спостереження та використання генерації гармонік є середовище із високою нелінійністю. Генерація оптичних гармонік – виникнення поляризації середовища і відповідно – випромінювання на частотах кратних і складових частотах збуджувального поля:

$$E_{2\omega}^H = dE_0^2 \times \cos 2(\omega t - \kappa z)$$
$$P_{\omega_1 \pm \omega_2}^H = 2dE_{01}^2 E_{02}^2 \cos[(\omega_1 \pm \omega_2)z - (k_1 \pm k_2)z]$$

де E – напруженість електричного поля, d – товщина кристалу, P – нелінійна поляризація, ω_1 , ω_2 – частота випромінювання на основній та подвоєній частоті, κ – хвильовий вектор, Z – координата.

При поширенні хвилі поляризації її енергія, отримана від хвилі накачування або передається пере випромінювальній хвилі, або відбирається від неї. Таким чином, в нелінійному середовищі виконується енергообмін між вхідними і підсумковими хвилями, в міру їх розповсюдження через середовище.

Для того, щоб хвилі накачування (хвилі поляризації) постійно передавали свою енергію пере випромінювальній хвилі під час проходження вздовж середовища необхідно, щоб у них різниця фазових швидкостей не змінювалась, зокрема була рівною нулю. У цьому випадку амплітуди вторинних хвиль сумуватимуться алгебраїчно і амплітуда пере випромінювальної хвилі зростатиме в міру поширення хвилі поляризації вздовж середовища. Умова незмінності фаз між цими хвилями є:

$k_{\omega_1 + \omega_2} = k_{\omega_1} + k_{\omega_2}$ - це умова фазового узгодження чи умова фазового синхронізму. при виконанні фазового синхронізму має

місце накопичення нелінійного ефекту, тобто підсилення амплітуди пере випромінювальної хвилі.

Умова фазового синхронізму для другої гармоніки буде мати вигляд:

$$k_{2\omega} = 2k_{\omega_1}$$

Експериментальна установка для дослідження генерації другої та вищих гармонік представлено на Рис.1.

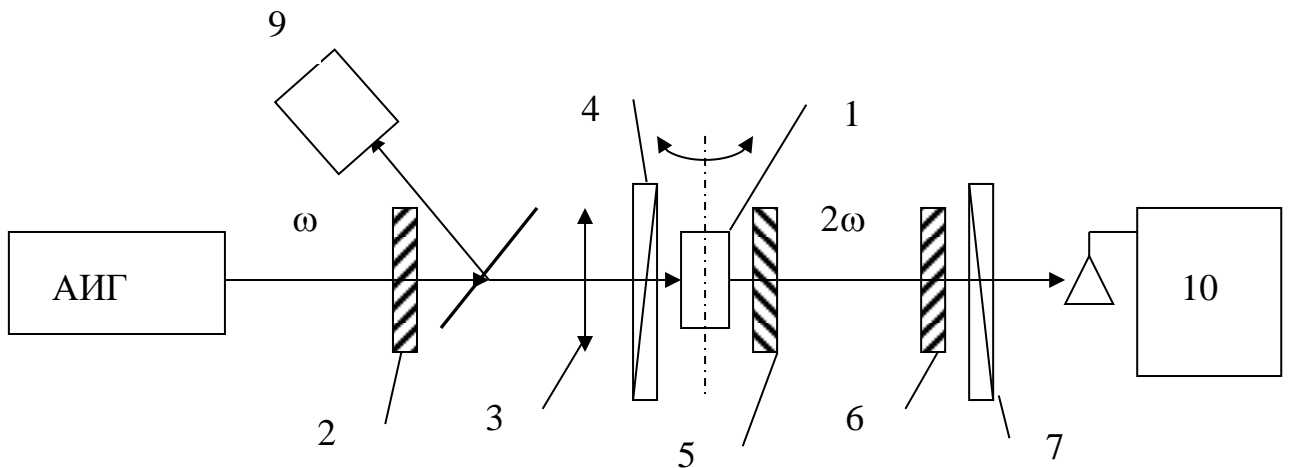


Рис.1. Схема експериментальної установки для дослідження генерації гармонік: 1- кристал, 2- фільтр ИКС-5, 3- лінза, 4- поляризатор, 5- фільтр СЗС-25, 6- фільтр СЗС-21, 7- аналізатор, 8- відбиваюча пластинка, 9- фотометр наносекундний ФН, 10 фотодіод ФД 263-01 та вольтметр диференційний.

За допомогою світлофільтрів виділяється випромінювання потрібної частоти, фотометр ФН 10 слугує для контролювання частоти основного випромінювання, фотодіод – пристрій, що вимірює потужність випромінювання згенерованого випромінювання.