електроніки зростає також потреба перспективних методів розробки нових ефективних напівпровідникових матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Кожем'яко В.П. Оптоелектронна схемотехніка: навч. посібник / В.П. Кожем'яко, С.В. Павлов, М.Г. Тарновський. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 189 с.

Волкомурова К.В.
студентка,
Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки

ЗВ'ЯЗОК ДЕЯКИХ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИСТАЛІВ З ЇХ СТРУКТУРОЮ

Однією з актуальних проблем матеріалознавства є створення оптичних середовищ з певним комплексом властивостей для ефективного використання в нелінійній оптиці. Розглянути механізми виникнення нелінійних явищ та дослідити вимоги до кристалічних речовин, в яких вони найкраще проявляються, є метою цієї роботи.

У лінійній оптиці діє принцип суперпозиції, відповідно до якого дві хвилі не змінюються і не розсіюються при їх накладанні. Параметри оптичних середовищ не залежать від інтенсивності світла. Нелінійні оптичні явища пов'язані з порушенням принципу суперпозиції. Причиною цього є нелінійна поляризація середовища. В лінійній оптиці вектор поляризації ***P*** пропорційний до напруженості електричного поля ***E***.

$$P=E_0\chi E, \quad (1)$$

При великих інтенсивностях світла коливання валентних електронів під дією електромагнітного поля хвилі стають ангармонічними. Дипольний момент при великих відхиленнях не пропорційний силі. Вектор поляризації речовини у такому випадку можна розкласти у ряд Тейлора за степенями E/E_a (E_a – напруженість внутрішньоатомного електричного поля):

$$P=E_0(\chi E+\chi^{(2)}E^2+\chi^{(3)}E^3+...), \quad (2)$$

Діелектрична сприйнятливість $\chi^{(i)}$ різко зменшується зі збільшенням *i* [1]:

$$\chi^{(1)}\approx 1,\ \chi^{(2)} \approx 10^{-12}m/V, \chi^{(3)} \approx 10^{-21}m^2/V^2$$

Кожен доданок формули (2) відповідає за певні нелінійні явища (генерацію вищих гармонік, сумування та віднімання частот, самофокусування, параметричні ефекти та ін.). В ізотропних середовищах та кристалах з центром інверсії усі парні доданки рівні 0. Тому в таких речовинах неможлива, наприклад, генерація другої гармоніки, але можлива третьої. Як показують експерименти, хвиля другої гармоніки, яка збуджується у середовищі, поляризованому хвилею основної частоти, в загальному випадку має іншу площину поляризації. Це свідчить про те що діелектрична сприйнятливість в

кристалах має тензорний характер. Практично усім речовинам, у яких відбувається генерація другої гармоніки, властиве подвійне променезаломлення. Тому компоненти дипольних моментів на вибрані головні напрями в кристалі є тензорами:

$$P_i = P_i^{(\omega)} + P_i^{(2\omega)}, \text{ i=1,2,3,...,} \quad (3)$$

$$P_i^{(\omega)} = \chi_{ij}^{(\omega)} E_j^{(\omega)}, \text{ i,j=1,2,3}$$

$$P_i^{(2\omega)} = \chi_{ijk}^{(2\omega)} E_j^{(\omega)} E_k^{(\omega)}, \text{i,j=1,2,3,}$$

Компоненти тензора нелінійної поляризації задовольняють умови симетрії кристалічної решітки. Наприклад для калію дигідрат фосфату (КДП) з точковою групою $\bar{4}2m$ тензор коефіцієнтів нелінійної поляризації має вигляд [2]:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \chi_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\chi_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \chi_{36} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Розв'язуючи рівняння Максвела з нелінійним вектором поляризації методом теорії збурень, у першому наближенні одержимо хвилю з частотою, вдвічі більшою, ніж у первинній хвилі. Проте генерація в середовищі другої гармоніки не завжди призводить до поширення ефективної хвилі. У лінійній оптиці частоти, а отже і фазові швидкості (V_ϕ) первинної і вторинної хвиль однакові, вторинні хвилі інтерферують з первинною і між собою. Якщо частоти хвиль різні, то внаслідок дисперсії ($V_\phi(\omega)=c/n(\omega)$) вторинні хвилі, що виникли у різних точках середовища, будуть мати різні фази і не будуть когерентні між собою. У такому випадку передача енергії від первинної хвилі до вторинної неможлива. Максимальна потужність результуючої хвилі досягається за умови фазового синхронізму: $n(2\omega)=n(\omega)$. Для ізотропних речовин, зважаючи на дисперсійну криву, одна з частот має лежати у прозорій області, інша в області сильного поглинання. Тільки в анізотропних кристалах поверхні показників заломлення звичайного ($n_o(\omega)$) і незвичайного ($n_e(2\omega)$) променів, сфера та еліпсоїд відповідно, можуть перетинатись у певних напрямках. Це відбувається лише тоді, коли еліпсоїд достатньо витягнутий, тобто різниця показників заломлення n_y-n_z велика.

Збільшити її можна шляхом утворення твердих розчинів на основі нелінійних сполук. Наприклад, для чистих кристалів $AgGaSe_2$ (просторова група I42d) $n_y - n_z$ становить 4.08×10^{-2} [3]. Введення $GeSe_2$ збільшує двопроменезаломлення, яке стає достатнім для досягнення фазової узгодженості при візуалізації випромінювання CO_2-лазера. Для $AgGaGe_9Se_{20}$ при l=0.7 мкм $n_y - n_z$ становить 43.1×10^{-2}. В монокристалах $Ag_xGa_xGe_{1-x}Se_2$ істотно зменшується коефіцієнт поглинання порівняно з вихідними сполуками. Стійкість до лазерного випромінювання збільшується від 5 МВт/см^2 для $AgGaSe_2$ до 50 МВт/см^2 для $Ag_xGa_xGe_{1-x}Se_2$ ($0.12\leq x\leq0.4$) [4]. Більша променева міцність дасть можливість проводити перетворнення частоти при більш високих енергіях накачки. Зростання двопроменезаломлення пов'язане зі зниженням симетрії структури від тетрагональної до ромбічної. В останній можна виділити окремі фрагменти тетраедричного характеру, перехрещені

майже під прямим кутом і розділені порожніми тетраедрами Se_4. Зі зростанням вмісту $GeSe_2$ у координаційну сферу статистичних сумішей (Ga, Ge) входить більше атомів Se. Шари атомів селену стають усе більш ізольованими, міжатомні віддалі в них вирівнюються [5], вони чергуються з хвилеподібними ланцюгами тетраедрів . У такій структурі сила хімічних зв'язків (отже і власні частоти коливань атомів) всередині шарів і перпендикулярно до них істотно відрізняються, тобто зростає $n_y - n_z$. Зв'язки послаблюються, що збільшує поляризовність.

Інтенсивність вторинної хвилі пропорційна інтенсивності первинної. Тому для одержання конверсії частоти використовують потужне лазерне випромінювання, часто в імпульсному режимі. Під дією електромагнітної хвилі можуть утворюватися центри забарвлення, які поглинають випромінювання, температура кристала зростає, що викликає його руйнування. Найбільш стійкі нелінійні матеріали витримують опромінення до 300-400 МВт/см^2.

Таким чином, нелінійні кристали для конверсії частоти повинні мати: низьку симетрію, велике подвійне променезаломлення, високу променева міцність, однорідність і чистоту. З огляду на це, перспективними нелінійними матеріалами є тверді розчини на основі хімічних сполук.

Список використаних джерел:

1. Беспалов В.І., Пасманик Г.А. Нелінійна оптика. – М.: «Наука», 1980.
2. Горбань І.С. Оптика. К.: вид. Вища школа. 1979 р.
3. Boyd G.D., Kasper H.M., McFee J.H., Strong F.G. Linear and nonlinear optical properties of some ternary selenides // IEEE J. Quant. Electron. – 1972. – V.QE-8, № 12. – P. 900-908.
4. Бадиков В.В., Тюлюпа.А.Г., Шевырдяева Г.С., Шеина С.Г. Твердые растворы в системах $AgGaS_2$ – GeS_2, $AgGaSe_2$ – $GeSe_2$ // Неорг. матер. – 1991. – №2. – С. 248-251.
5. Олексеюк И.Д., Давидюк Г.Е., Богданюк Н.С., Божко В.В., Шаварова А.П., Горгут Г.П. Получение и свойства монокристалла $Ag_{0.12}Ga_{0.12}Ge_{0.88}Se_2$ // Изв. РАН. Неорг. матер. – 1993. – Т. 29, № 5. – С. 617-619.

Волкомурова К.В.
студентка,
Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки

ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ПОГЛИНАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ТЕТРАРНИХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ

Тернарні і тетрарні сполуки, до складу яких входять халькогени, і тверді розчини на їх основі мають нецентросиметричну структуру, значну анізотропію оптичних параметрів, широку спектральну область пропускання світла, велику поляризовність атомів халькогенідів порівняно з атомами кисню в оксидних фазах. Це обумовлює нелінійні оптичні і електричні характеристики