

КУТОВА ЗАЛЕЖНІСТЬ ДВОФОТОННОГО ПОГЛИНАННЯ В CdP₂

Малиш М.І., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш М.Р., доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева, НАН України, Київ, Україна, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174

ANGULAR DEPENDENCE OF TWO-PHOTON ABSORPTION IN CdP₂

Malysh M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulish N.R., V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В CdP₂

Мальш Н.И., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Кулиш Н.Р., доктор физико-математических наук, Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева, НАН Украины, Киев, Украина, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Постановка проблеми.

В CdP₂ детально досліджено лінійно циркулярний дихроїзм та частотну залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β [1,2], однак, нам невідомі значення абсолютної величини β та її залежності від азимута поляризації. В даній роботі встановлено особливості кутової залежності β та інтенсивності світла, що розповсюджується в CdP₂.

Вплив азимута поляризації на інтенсивність світла

При визначенні коефіцієнта двофотонного поглинання β методом одного джерела світла на вхідну поверхню плоско паралельного зразка вздовж нормалі падав потік лінійно поляризованого випромінювання. Якщо азимут поляризації $\varphi \neq n\pi/2$ (φ - кут між оптичною віссю **C** та вектором поляризації **E**, $n = 0,1,2,3, \dots$), то можна вважати, що в одновісному кристалі в одному і тому ж напрямку розповсюджуються два потоки випромінювання: в одному з них $\mathbf{E} \perp \mathbf{C}$, а іншому $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$. Нехай I_0 - інтенсивність світлового потоку, що падає на зразок. Безпосередньо за передньою поверхнею зразка у згаданих вище потоках інтенсивність відповідно буде рівною

$$I_{O \perp} = I_0 \sin^2 \varphi, \quad I_{O \parallel} = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (1)$$

Зменшення інтенсивності у кожному з цих потоків визначається величиною коефіцієнтів однофотонного (відповідно K_{\perp} та K_{\parallel}) та двофотонного (відповідно β_{\perp} та β_{\parallel}) поглинання. Інтенсивність I світла, що виходить із зразка обчислюється за формулою:

$$I = I_{\perp} \cos^2 \psi + I_{\parallel} \sin^2 \psi + \sqrt{I_{\perp} I_{\parallel}} \sin(2\psi) \cos \delta, \quad (2)$$

де

$$I = \frac{I_0(1-R_{\perp})^2 \cos^2 \varphi e^{-K_{\perp} d}}{1 + \frac{\beta_{\perp} I_0(1-R_{\perp}) \cos^2 \varphi}{K_{\perp}} \left(1 - e^{-K_{\perp} d}\right)} \cos^2 \psi, \quad (3)$$

$$I_{\perp} = \frac{I_0(1-R_{\perp})^2 \cos^2 \varphi e^{-K_{\perp} d}}{1 + \frac{\beta_{\perp} I_0(1-R_{\perp}) \cos^2 \varphi}{K_{\perp}} \left(1 - e^{-K_{\perp} d}\right)}. \quad (4)$$

При фіксованих значеннях кута набігу фази δ , товщини зразка d , коефіцієнтів відбивання R_{\perp} та R_{\parallel} , коефіцієнтів однофотонного та двофотонного поглинання та I_0 формула (2) описує залежність I від φ .

Методика вимірювання та результати

Оптична вісь в плоско паралельних зразках CdP_2 товщиною 1 см знаходилась в площині, на яку вздовж нормалі падав лінійно поляризований паралельний потік випромінювання рубінового лазера з тривалістю імпульсів 20 нс. Для визначення β використовувалась методика одного джерела світла. Для зменшення впливу систематичних похибок приймалися звичайні перестороги [3,4]: формувався світловий потік, форма якого близька до циліндричної, з розподілом інтенсивності випромінювання по площі поперечного перерізу близьким до однорідного; враховувалось відбивання світла від передньої та задньої грані кристала; величина пропускання T при фіксованій інтенсивності усереднювалось по 10-15 імпульсах з одним і тим же розподілом інтенсивності імпульса в часі. Інтенсивності на вході (I_0) та на виході (I) зразка детектувались фотопомножувачами ЕЛУ-ФТ та реєструвались осцилографами С8-12. Величина I_0 змінювалась за допомогою набору каліброваних нейтрально-сірих фільтрів, а азимута поляризації - шляхом повороту призми Глана.

Для всіх значень азимута поляризації φ експериментальна залежність оберненого пропускання $1/T = I_0/I$ від I_0 (точки) аналогічна наведеній на рис. 1. Для її апроксимації використовувалось співвідношення [3,5,6]:

$$\frac{1}{T} = \frac{I_0}{I} = \frac{\exp(Kd)}{(1-R)^2} + \frac{\beta [\exp(Kd)-1]}{K(1-R)}, \quad (5)$$

де K та β - коефіцієнти одно- та двофотонного поглинання, коефіцієнт відбивання $R = 0,16$, A та B - константи. Встановлено, що розрахована за формулою (5) залежність $1/T = f(I_0)$ (рис. 1, суцільна пряма) узгоджується з експериментально знайденою (рис. 1, точки). Скориставшись значенням A , визначеним по точці перетину прямої (рис. 1) з віссю ординат, знаходимо $K = (1/d)\ln[A(1-R)^2]$. Виявилось, що K не залежить від азимута поляризації і дорівнює $(0,12 \pm 0,01) \text{ см}^{-1}$. З кута нахилу прямої визначаємо B , що дозволяє оцінити коефіцієнт двофотонного поглинання $\beta = [BK(1-R)]/[A(1-R)^2-1]$. Величини β для положення вектора електромагнітної хвилі $\mathbf{E} \perp \mathbf{C}$, та $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$ відповідно дорівнюють: $\beta_{\perp} = 0,16 \text{ см/МВт}$, $\beta_{\parallel} = 0,075 \text{ см/МВт}$. Задавши певне фіксоване значення $I_0 = 11 \text{ МВт/см}^2$, яке на 25 % нижче від порогу пошкодження CdP_2 , знаходимо $1/T$ (рис. 1, стрілки), що дозволяє оцінити величину I .

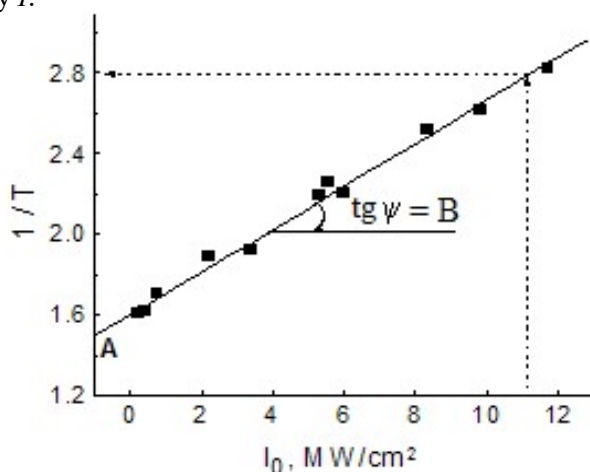


Рисунок 1 – Залежність оберненого пропускання $1/T$ від інтенсивності I_0 світлового потоку для азимута поляризації $\varphi = 30^\circ$. Пунктирними стрілками показано метод знаходження $1/T$ для фіксованого значення I_0

Figure 1 – The dependence of the inverse transmission $1/T$ on the intensity of the light flux I_0 for the polarization azimuth $\varphi = 30^\circ$. Dotted arrows show the method of finding $1/T$ for a fixed value of I_0

Найкраще узгодження розрахованої за формулою (2) залежності I від φ (рис. 2, суцільна крива) з експериментально встановленою (рис.2, точки) досягається при значенні $\delta = 90^\circ$.

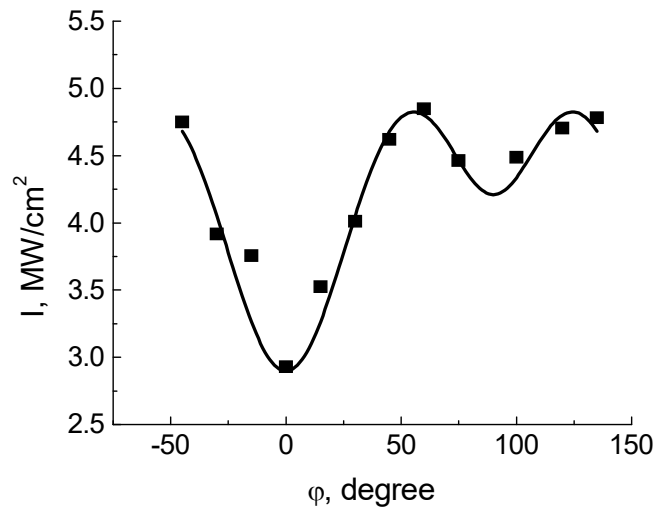


Рис. 2. Залежність інтенсивності I на виході зразка від азимута поляризації φ для $I_0 = 11$ МВт/см².

Точки - експеримент, суцільна крива - розрахунок за формулою (2).

Fig. 2. The dependence of the intensity I , coming out from the sample, on the polarization azimuth φ for $I_0 = 11$ MW / cm². Points - an experiment, a solid curve - the calculation by the formula (2).

При використанні формули (5) для визначення коефіцієнта двофотонного поглинання β потрібно пам'ятати, що при $\varphi \neq \pi/2$ отримуємо усереднене значення β . Підставивши у формулу (5) одержані значення I , знаходимо залежність β від φ (рис. 3, суцільна крива). Видно, що вона узгоджується з експериментально визначеною (рис. 3, точки).

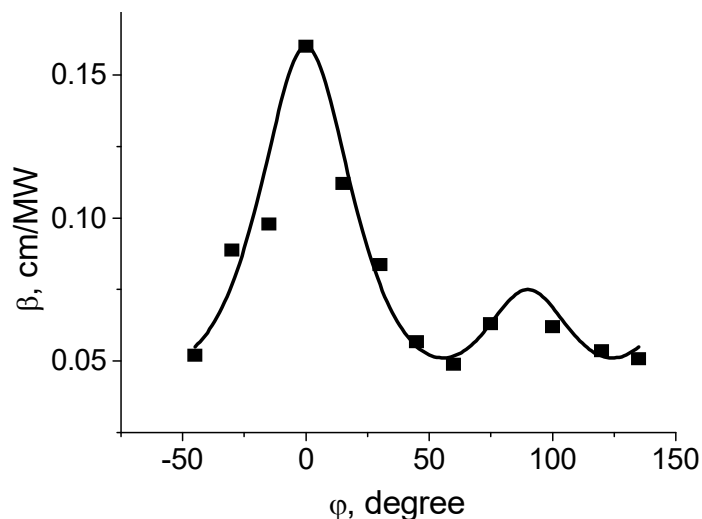


Рис. 3. Залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β від азимута поляризації φ для $I_0 = 11$ МВт/см². Точки - експеримент, суцільна крива - розрахунок.

Fig. 3. The dependence of the two-photon absorption coefficient β on the azimuth of polarization φ for $I_0 = 11$ MW / cm². Points - experiment, solid curve - calculation.

Висновки

Встановлено кутову залежність коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та інтенсивності світла на виході зразка. При проектуванні та виготовленні елементів силової оптики та кореляторів з одновісних кристалів потрібно враховувати такі залежності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мозоль П.Е. Влияние типа поляризации на нелинейное поглощение света в дифосфиде кадмия / П.Е. Мозоль, И.И. Пацкун, Е.А. Сальков, Н.С. Корец, И.В. Фекешгази // ФТП.- 1980.- Том 14.- № 5.- С. 902-907.
2. Борщ В.В. Дисперсия двухфотонного поглощения света в дифосфидах кадмия и цинка/ В.В. Борщ, М.П. Лисица, П.Е. Мозоль // УФЖ.- 1977.- Том 22.- № 11.- С. 1914-1915.
3. De Souza M.E. Two-photon absorption in hexagonal CdS/ M.E. de Souza, Cid B. de Araujo // Sol. St. Comm.- 1983.- Vol. 48.- №11.- P. 967-970.
4. Swofford R.L. The effect of spatial and temporal laser beam characteristics on two-photon absorption / R.L. Swofford, W.M. McClan // Chemical Physical Letters. 1975. -Vol. 34.- № 3.- P. 455-460.
5. Бродин М.С. Двухфотонное поглощение смешанных полупроводниковых кристаллов группы A^2B^6 / М.С. Бродин, Д.Б. Гоер, З.А. Демиденко // Квантовая электроника.- Киев, Наукова думка.- 1976.- Вып. 10.- С. 56-81.
6. Корнейчук В.А. Влияние типа поляризации лазерного излучения на двухфотонное поглощение света в полупроводниках $A^{II}B^{VI}$ / В.А. Корнейчук, М.П. Лисица, И.В. Фекешгази // ФТП.- 1977.- Том 11.- Вып. 6.- С. 192-195.

REFERENCES

1. Mozol P.E., Pazkun I.I., Salkov E.A., Korez N.S., Fekeshgazi I.V. (1980) Vlianie tipa polarizazii na nelinejnoe pogloschenie sveta v difosvide kadmia [Effect of the type of polarization on the nonlinear absorption of light in cadmium diphosphide]. Fizika i tehnika poluprovodnikov [Semiconductor Physics and Technology], Vol. 14. № 5, 902-907 [in Russian].
2. Borsch V.V., Lisiza M.P., Mozol P.E. (1977) Dispersia dvufotonnogo pogloschenia svjeta v difosvide kadmia i zinka [Dispersion of two-photon absorption of light in cadmium and zinc diphosphides]. Ukrainskij fizicheskij jurnal [Ukrainian Physical Journal], Vol. 22. № 11, 1914-1915 [in Ukrainian].
3. De Souza M.E., de Araujo Cid B. (1983) Two-photon absorption in hexagonal CdS. Sol. St. Comm. Vol. 48. № 11, 967-970.
4. Swofford R.L., McClan W.M. (1975). The effect of spatial and temporal laser beam characteristics on two-photon absorption. Chemical Physical Letters. Vol. 34. № 3, 455-460.
5. Brodin M.S., Goer D.B., Demedenko Z.A. (1976) Dvufotonnoje pogloschenije smeshanykh poluprovodnikovych kristallov grupy $A^{II}B^{VI}$ [Two-photon absorption of mixed $A^{II}B^{VI}$ semiconductor crystals]. Kvantovaja elektronika,- Kyiv, Naukova dumka [Quantum Electronics]. Kyiv, Scientific Opinion. Vol. 10, 56-81 [in Ukrainian].
6. Korneichuk V.A., Lisiza M.P., Fekeshgazi I.V. (1977) Vlijanije tipa polarizazii lasernogo izluchenija na dvufotonnoje pogloschenije svjeta v poluprovodnikach $A^{II}B^{VI}$ [Effect of the type of polarization of laser radiation on two-photon absorption of light in $A^{II}B^{VI}$ semiconductors]. Fizika i tehnika poluprovodnikov [Semiconductor Physics and Technology], Vol.11. № 6, 192-195 [in Russian].

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Кутова залежність двофотонного поглинання в CdP_2 / М.І. Малиш, М.Р. Куліш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В CdP_2 детально досліджено лінійно циркуляриний дихроїзм та частотну залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β , однак, нам невідомі значення абсолютної величини β та її залежності від азимута поляризації.

Мета досліджень: визначення абсолютної величини коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та його залежності від азимута поляризації.

Об'єкт досліджень – монокристали CdP_2 .

Метод дослідження - експериментальний.

Встановлено кутову залежність коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та інтенсивності світла на виході зразка. При проектуванні та виготовленні елементів силової оптики та кореляторів з одновісних кристалів потрібно враховувати такі залежності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ДВОФОТОННЕ ПОГЛИНАННЯ, CdP_2 , АЗИМУТ ПОЛЯРИЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Malysh M.I., Kulish M.R. Angular dependence of two-photon absorption in CdP_2 . Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In CdP_2 linearly circular dichroism and frequency dependence of the two-photon absorption coefficient β have been studied in detail, however, we do not know the value of the absolute value of β and its dependence on polarization azimuth.

Purpose of research: testing of possibilities of direct method of measuring the coefficient of two-photon absorption in solids.

Object of research - monocycles CdP_2 .

The research method is experimental.

The angular dependence of the two-photon absorption coefficient CdP_2 and the intensity of light at the sample output is established. When designing and manufacturing elements of power optics and correlators from univalent crystals, one must take into account the following dependencies.

KEYWORDS: POLARIZATION, TWO-PHOTON ABSORPTION, CdP_2 , POLARIZATION AZIMUTH.

РЕФЕРАТ

Малыш Н.И. Угловая зависимость двухфотонного поглощения в CdP_2 / Н.И. Малыш, Н.Р. Кулиш // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В CdP_2 подробно исследованы линейно циркулярный дихроизм и частотную зависимость коэффициента двофотонного поглощения β , однако, нам неизвестны значения абсолютной величины β и ее зависимости от азимута поляризации.

Цель исследований: определение абсолютного значения коэффициента двухфотонного поглощения CdP_2 и его зависимости от азимута поляризации.

Объект исследований – монокристаллы CdP_2 .

Метод исследования - экспериментальный.

Установлено угловую зависимость коэффициента двухфотонного поглощения CdP_2 и интенсивности света на выходе образца. При проектировании и изготовлении элементов силової оптики и корреляторов из одноосных кристаллов необходимо учитывать такие зависимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ДВУХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ, CdP_2 , АЗИМУТ ПОЛЯРИЗАЦИИ.

АВТОРИ:

Малиш Микола Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш Микола Радіонович, доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, провідний науковий співробітник, e-mail: n_kulich@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Україна, 03028, м. Київ, Велика Китаївська 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

AUTHORS

Malysh M. I., associate professor, National Transport University, associate professor department of information and analytical activities and information security, e-mail: M_Malysh@ukr.net, tel. +380442846709, +380508257165, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulich Mykola Radionovich, doctor of physical-mathematical sciences, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Leading Researcher, e-mail: n_kulich@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Ukraine, 03028, Kyiv, Bolshay Kitaevskay str. 10, of. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

АВТОРЫ

Малыш Николай Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационно-аналитической деятельности и информационной безопасности, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Кулиш Николай Радионович, доктор физико-математических наук, Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева НАН Укрины, ведущий научный сотрудник, e-mail: n_kulich@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661 Украина, 03028, г. Киев, Большая Китаевская 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету Транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Стрельчук В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторії, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, Київ, Україна.

REVIEWER:

Danchuk V.D., doctor of sciences, professor, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Strelchuk V.V., doctor of sciences, professor, head department of general physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.