

РАЗЛІК СПЕКТРА ПРАПУСКАННЯ АДНАМЕРНЫХ ФАТОННЫХ КРЫШТАЛЯУ

В. У Ціхановіч

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск

Тэрмін "аднамерны фатонны крышталі" выкарыстоўваецца для абазначэння глыбока прамадуляванай аптычна неаднароднай структуры, уласцівасць якой перыядычна змяняюцца уздоўж аднаго наўрунку [1, 2]. Гэта адбываецца з-за таго, што брэгаўская дыфракцыя уласных электрамагнітных станаў блохаўскага тыпу на краі зоны Брылюэна такой структуры прыводзіць да узшкнення фатоннай забароненай зоны (photonic band gap) для выпраменьвання [3, 4]. Пры наяўнасці поўнай забароненай зоны распаўсюджванне святла ў фатонным крышталі падаўляецца ў любым напрамку ў спектральным дыяпазоне, які адпавядае забароненай зоне. Гэтая уласцівасць з'яўляецца асабліва важнай для практычнага прымянення фатонных крышталі, таму першаснай задачай тэорыі з'яўляецца пабудова матэматычнай мадэлі разліку забароненых зонаў у перыядычных дыэлектрычных структурах.

Напружанасць электрычнага поля ў фатонным крышталі можна ўявіць у выглядзе суперпазіцыі плоскіх хваляў, якія распаўсюджваюцца ў супрацьлеглых наўрунках,

$$E(x) = A \exp[ik(x - x_0)] + R \exp[-ik(x - x_0)], \quad (1)$$

пры $x_0 < x < x_{0+1}$, дзе $k = n_1 k_0$ - камплексная ў агульным выпадку пастаянная распаўсюджвання, $k_0^2 \equiv \frac{2\pi}{\lambda_0}$ - хвалявы вектар.

Прыроўніваючы амплітуды электрычнага поля і іх вытворныя па каардынаце на мяжы суседніх слаёў, знаходзім наступнае пераўтварэнне, звязваючае амплітуды хваляў у пунктах i і $i+1$ [5]:

$$\begin{aligned} \frac{k_{i+1} + k_i}{2} \exp[ik_i Ax] &= \frac{k_{i+1} - k_i}{2} \exp[-ik_i Ax] \quad f_A \\ V_{i+1} &= \frac{k_{i+1} + k_i}{2} \exp[ik_i Ax] \quad V_R \end{aligned} \quad (2)$$

дзе $Ax = x_{0+1} - x_0$ - адлегласць паміж разглядаемымі пунктамі, а $k = n(x)k_0$.

Няхай на ўваходзе структуры мы маем плоскую электрамагнітную хвалю, якую можна ўявіць у выглядзе суперпазіцыі падаючай і адбітай

хвалю з амплітудай C , тады сувязь паміж A і B адпаведна, а на выхадзе выйшаўшую хвалю з амплітудай C , тады сувязь паміж A і B , улічваючы характарыстычную матрыцу фатоннага крышталю, можна паказаць у выглядзе:

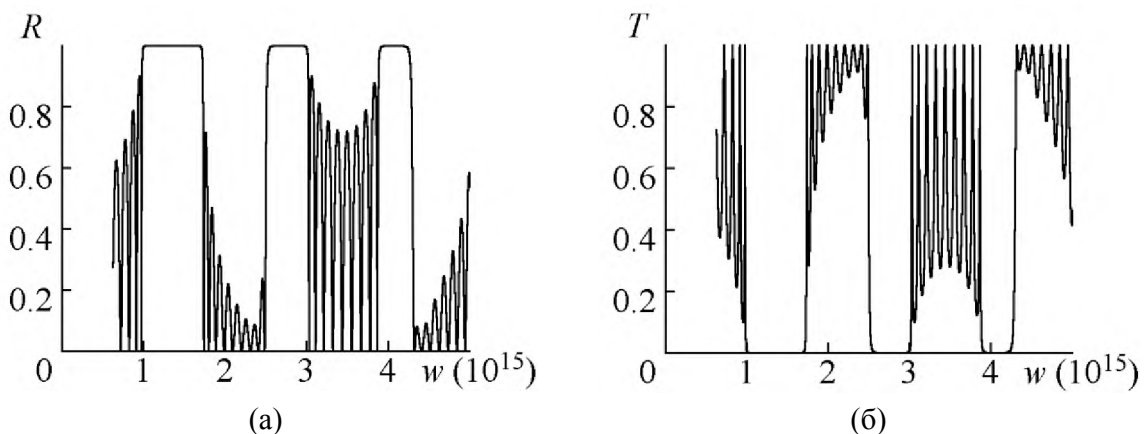
$$\begin{aligned} M_{11}A + M_{12}B &= C \\ M_{21}A + M_{22}B &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Так як амплітуды поля з'яўляюцца велічынямі камплекснымі, то каэфіцыенты адбіцця і прапускання разлічваюцца па формулах:

$$R = \frac{|E_{\text{refl}}|^2}{|E_{\text{inc}}|^2} \quad (4)$$

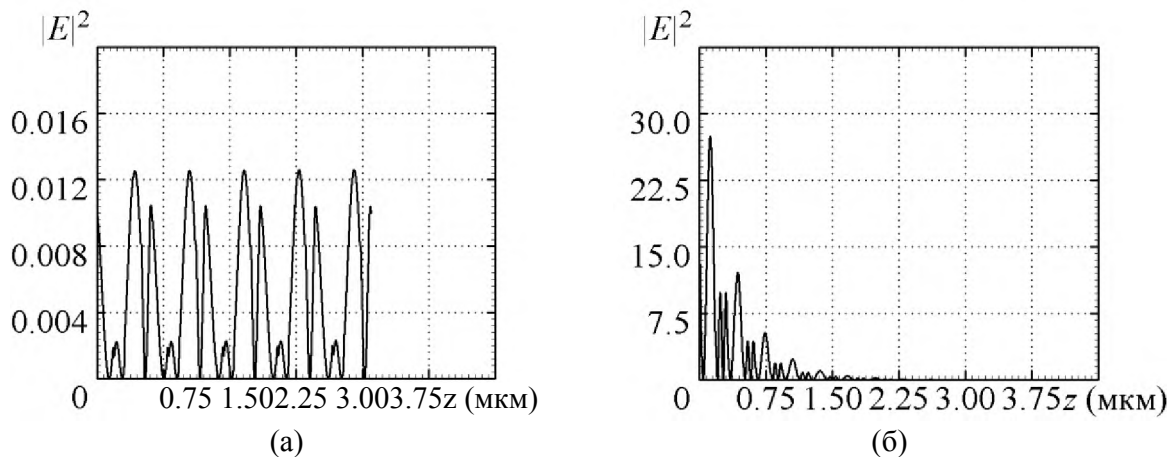
$$T = \frac{|E_{\text{trans}}|^2}{|E_{\text{inc}}|^2} \quad (5)$$

З дапамогай дадзенай матэматычнай мадэлі была разгледжана фатонная структура, якая складалася з арсеніда галія (GaAs) і аксіда крэмнія (SiO_2). Таўшчыня арсеніда галія мела значэнне $d = 120$ нм, паказшк праламлення $n = 3.5$; адпаведныя параметры для аксіда крэмнія складалі $d_2 = 190$ нм і $n_2 = 1.41$. Пры гэтым, паколькі фатонныя крысталі валодаюць значнай глыбінёй мадуляцыі і каэфіцыент адбіцця у забароненай зоне мала адрозніваецца ад адзінцы нават пры невялікай колькасці перыядаў, то для даследавання выбіралася структура з колькасцю перыядаў $N = 10$ і агульная даўжыня складала $L \ll 5-10$ мкм. Для дадзенага фатоннага крышталю забароненыя зоны для выпраменьвання патрапілі ў дыяпазоны цыклічных частот ад $10-10^{14}$ Гц да $17-10^{14}$ Гц, ад $25-10^{14}$ Гц да $30-10^{14}$ Гц і ад $39-10^{14}$ Гц да $43 \cdot 10^{14}$.



Мал. 1. Спектры адбіцця (а) і прапускання (б) аднамернай фатоннай структуры з параметрамі $n = 3.5$ (GaAs) і $n_2 = 1.41$ (SiO_2)

Пры варыяцыі лшу перыядаў было заўважана, што для атрымання больш выразных забароненых зонаў неабходна большая колькасць перыядаў. Іншым шляхам атрымання больш выразных забароненых зон з'яўляецца павелічэнне глыбш мадуляцыі паказніка праламлення. У спектры адбicia дыэлектрычнага фатоннага крыштала, які складаецца з N перыядаў, паміж двума суседнімі забароненымі зонамі знаходзіцца $N - 1$ вузлаў, у якіх каэфіцыент адбicia становіцца роўным нулю, а каэфіцыент прапускання, адпаведна, адзінцы. Дадзеныя частоты носяць назву "рэзанансаў прапускання".



Мал. 2. Размеркаванне амплітуды поля у фатонным крышталі для хвалі з цыклічнымі частатамі $\omega = 2.094 \cdot 10^{15}$ (а) і $\omega = 4.189 \cdot 10^{15}$ (б)

Таксама з дапамогай дадзенай мадэлі было разгледжана размеркаванне амплітуды поля у фатонным крышталі для розных частот (мал. 2). У выпадку, калі частата выпраменьвання патрапляла ў забароненую зону, амплітуда поля экспаненцыйна затухала ўнутры структуры. Калі ж частата была наладжана на рэзананс прапускання, то назіралася праходжанне хвалі праз фатонны крышталі без стратаў.

Кампутарнае мадэляванне дазваляе даследаваць спектры прапускання і адбicia для розных паўправадніковых структураў пры вядомых спектральных залежнасцях каэфіцыента паглынання і праламлення.

1. Голубев В. Г., Кособукин В. А., Курдюков Д. А. // ФТП. 2001. Т. 35, № 6. С. 710-713.
2. Яриу А, Юх П. Оптические волны в кристаллах. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 616 с.
3. Борн М, Вольф. Э. Основы оптики М.: Наука, 1970. С. 77-96.
4. Ціхановіч В. // Полупроводниковые лазеры. Сб. науч. статей. Вып. 2. Мн.: БГУ, 2003. С.161-194.
5. Афоненко А. А., Манах И. С. Электромагнитная теория полупроводниковых лазеров. Мн.: Белгосуниверситет, 1997. 59 с.