



Liên hệ thêm tài liệu: thanhnam1910_2006@yahoo.com

CHƯƠNG 1: DẪN NHẬP VÀO TINH TH PHOTONIC

1.1. Định nghĩa:

Tinh thể photonic là loại vật liệu mà cấu trúc của nó là sắp xếp tuần hoàn của vật liệu trong môi trường không gian. Dựa vào tuần hoàn ta có thể chia thành 3 loại tinh thể photonic: là tinh thể photonic 1D, 2D và 3D. Hay nói cách khác, tinh thể photonic là loại vật liệu có khả năng khi chiếu ánh sáng do bản chất của loại vật liệu này có vùng cấm photonic, mà trong vùng này không có một trạng thái nào tồn tại, hay một trạng thái bị cấm.

1.2. Sóng điện từ cho tinh thể photonic

Khi tìm hiểu về tinh thể photonic, tức là tìm hiểu những tác động của ánh sáng vào tinh thể photonic, ta biết rằng ánh sáng là sóng điện từ. Vì thế trước khi tìm hiểu về tinh thể photonic, ta phải khảo sát sự truyền sóng điện từ trong môi trường trong môi trường bằng cách tìm ra phương trình truyền sóng chính xác trong môi trường trong môi trường. Phương trình sóng chính xác này là biểu thức để thông tin quan trọng về sóng điện từ trong môi trường tinh thể photonic.

Hệ phương trình Maxwell trong môi trường:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = 0 \quad \nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) + \mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = 0 \\ \nabla \cdot [\epsilon(\mathbf{r}) \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)] = 0 \quad \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) - \epsilon_0 \epsilon(\mathbf{r}) \frac{\partial \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = 0. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Nhìn vào hệ phương trình Maxwell (1.1) trên, ta thấy rất phức tạp, khó áp dụng ngay xây dựng phương trình truyền sóng. Nên trong bài này, chúng ta dùng kỹ thuật phân tích toán học,

tách mode i n - t tr ng thành hai ph n riêng r , là hàm ph thu c t a r và hàm i u hòa theo th i gian t . B i vì vi c tách này ti n l i h n trong quá trình gi i nghi m và bi n i , ti n l i h n trong vi c thi t l p nên ph ng trình truy n sóng trong môi tr ng i n môi, d ng c a nó sau khi tách nh sau:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{H}(\mathbf{r})e^{-i\omega t} \\ \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{E}(\mathbf{r})e^{-i\omega t}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Ta thay ph ng trình (1.2) vào (1.1) , nh n c k t qu sau:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{H}(\mathbf{r}) &= 0, \quad \nabla \cdot [\varepsilon(\mathbf{r})\mathbf{E}(\mathbf{r})] = 0, \\ \nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}) - i\omega\mu_0\mathbf{H}(\mathbf{r}) &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) + i\omega\varepsilon_0\varepsilon(\mathbf{r})\mathbf{E}(\mathbf{r}) &= 0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

T h ph ng trình (1.3) , ta suy ra c ph ng trình truy n sóng trong môi tr ng i n môi có d ng nh sau:

$$\boxed{\nabla \times \left(\frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) \right) = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r}).} \quad (1.4)$$

Ta bi t r ng t tr ng c sinh ra b i dòng i n, hay s bi n i c a i n tr ng, nó mang thông tin c a i n tr ng. Nên ta ch quan tâm n m t trong hai ph ng trình truy n sóng i n hay t tr ng là c. B i các mode i n t trong tinh th photonic là các hàm riêng, nghi m c a ph ng trình hamilton . H n n a ph ng trình (1.4) trên có d ng y nh hamilton .Nên trong i n ng l c h c khi nghi n c u s t ng tác ánh sáng v i tinh th photonic ta xem nó ph ng trình (1.4) là ph ng trình ch l c , t ng t nh ph ng trình

truy n sóng c a electron trong môi tr ng tinh th c a c h c l ng t . S t ng t này c hi u do tính t ng quan gi a electron và photon mà thôi.

Vi c gi i ph ng trình ch l c (1.4) s cho ta bi t mode i n t t n t i nh th nào trong môi tr ng i n môi , t n s , vector truy n sóng nào t n t i , ch s vùng c a sóng i n t nh th nào...

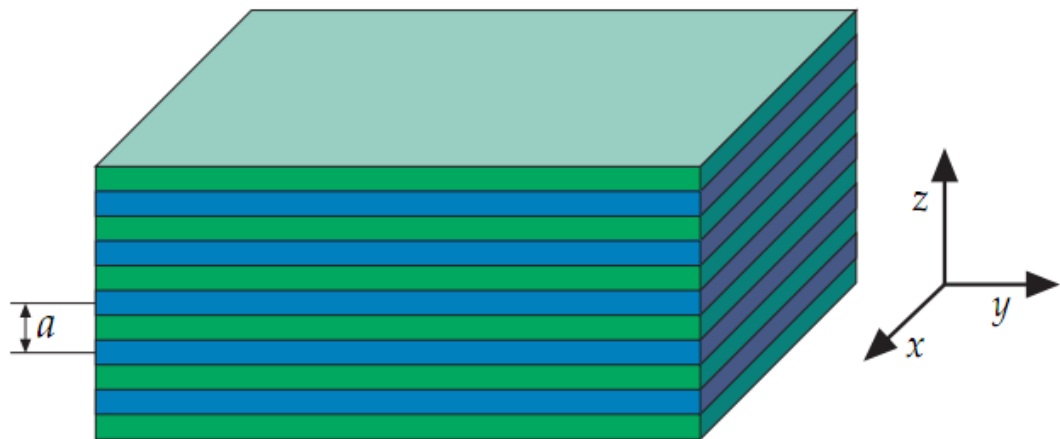
Nói tóm l i vi c tìm ra ph ng trình ch l c (1.4) có ý ngh a h t s c quan tr ng khi nghi ên c u s t ng tác ánh sáng v i v t li u tinh th photonic. Tùy vào s tu n hoàn c a v t li u tinh th photonic mà ta có nh ng i u ki n ràng bu c gi i ph ng trình (1.4) trên, t t nghiên nghi m c a các tr ng h p c ng hoàn toàn khác nhau . Chính vì nh ng nghi m khác nhau ng v i các c u trúc tu n hoàn 1D, 2D và 3D cho ta bi t c nh ng nét c tr ng riêng cho m i lo i trên.

CHƯƠNG 2: PHÂN LOẠI TINH TH PHOTONIC THEO SỐ TU NHỌN

2.1 .Tinh th photonic 1D

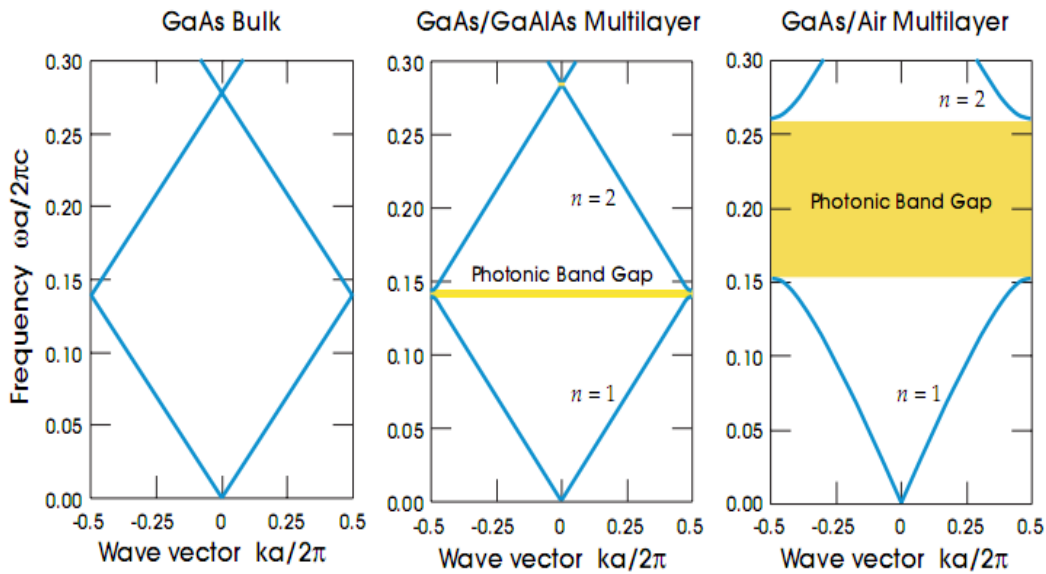
2.1.1. Định nghĩa:

Tinh th photonic 1D là màng i n môi a l p bao g m 2 lo i màng i n môi s p x p xen k nhau trong không gian tu n hoàn theo m t ph ng nh t nh .(ây là tu n hoàn theo ph ng z). H ng s m ng là a, l p màu xanh m là l p có h ng s i n môi cao, còn l p màu xanh t chu i là l p có h ng s i n môi th p



Hình 2.1 : màng i n môi a l p (tinh th photonic 1 D)

Nét c tr ng c a tinh th photonic 1D là luôn luôn xu t hi n vùng c m vùng c m photonic .Vùng c m photonic ây c hi u là vùng ch a m t d i t n s , sao cho không có mode i n t nào c phép có t n s trong vùng này. Nó c ng t ng t nh vùng c m n ng l ng ch t bán d n , là vùng không cho phép electron nào c phép có m c n ng l ng trong vùng c m c a nó. Vùng c m là m t ph n n m trong c u trúc vùng photonic, d a vào tính c tr ng c a vùng c m, ta có th bi t mode i n t nào không c phép hay c phép thâm nh p vào tinh th photonic nói chung và tinh th photonic 1D nói riêng. Bên d i là 3 c u trúc vùng c a 3 tr ng h p c b n mô t vùng c m photonic cho tr ng h p 1D.



Hình 2.2: c u trúc vùng t ng ng cho 3 tr ng h p : v t li u kh i GaAs (bên trái), màng a l p tu n hoàn GaAs/ GaAlAs (gi a) , màng a l p tu n hoàn GaAs/Air bên ph i. (xét c u trúc vùng cho 2 vùng th p nh t, t c là 2 màng i n môi cao và th p u tiên tính t ngoài vào theo h ng z)

Nh ta th y **hình 2.2** bên trên, thì vùng c m khác nhau cho 3 tr ng h p :

Tr ng h p 1 : v t li u kh i (nh màng a l p nh ng ng ch t), không có xu t hi n vùng c m .

Tr ãng h p 2: có xu t hi n vùng c m nh ãng h p (ãng màu vàng)

Tr ãng h p 3: có xu t hi n vùng c m nh tr ãng h p 2, nh ãng r ãng h n nhi u l n.

V y nguyên nhân nào quy t ãnh s xu t hi n vùng c m, c ãng nh ãr ãng hay h p c a nó, chúng ta cùng tìm hi u ngay bên d ãi

2.1.2.Ngu ãng c hình thành vùng c m photonic

Bây gi ã ta xem xét s truy n sóng trong h ãng z, b ãng ngang các l p ãi n môi. Truy n sóng theo ph ãng này, thì vector sóng k z b gi ãi h n trong vùng briullouin . Do tính ch t tu n hoàn c a tinh th photonic 1D, ãn vùng brillouin c a nó c ãng xen k ãnhau và tu n hoàn . Do ó, khi nghiên c u tr ãng thái ãi n t trong tinh th b ãng c u trúc vùng, ta ch c ãn xét vùng brillouin th ãnh t là, các vùng khác t ãng t . ãên trong vùng briullouin th ãnh t này, k z c gi ãi h n trong kho ãng $(-\pi/a, \pi/a)$. V ãi a là h ãng s m ãng c a tinh th .

Trên quan ãi m ó, ãi u ngu ãng c v t lý c a vi c hình thành vùng c m photonic, ta xét tr ãng thái bên trên và bên d ãi vùng c m : t c là ãy vùng 2 và ãnh vùng 1 (quy c vùng 1 là vùng ãi n môi cao, vùng 2 là vùng ãi n môi th p).

Theo lý thuy t bi ãn phân :

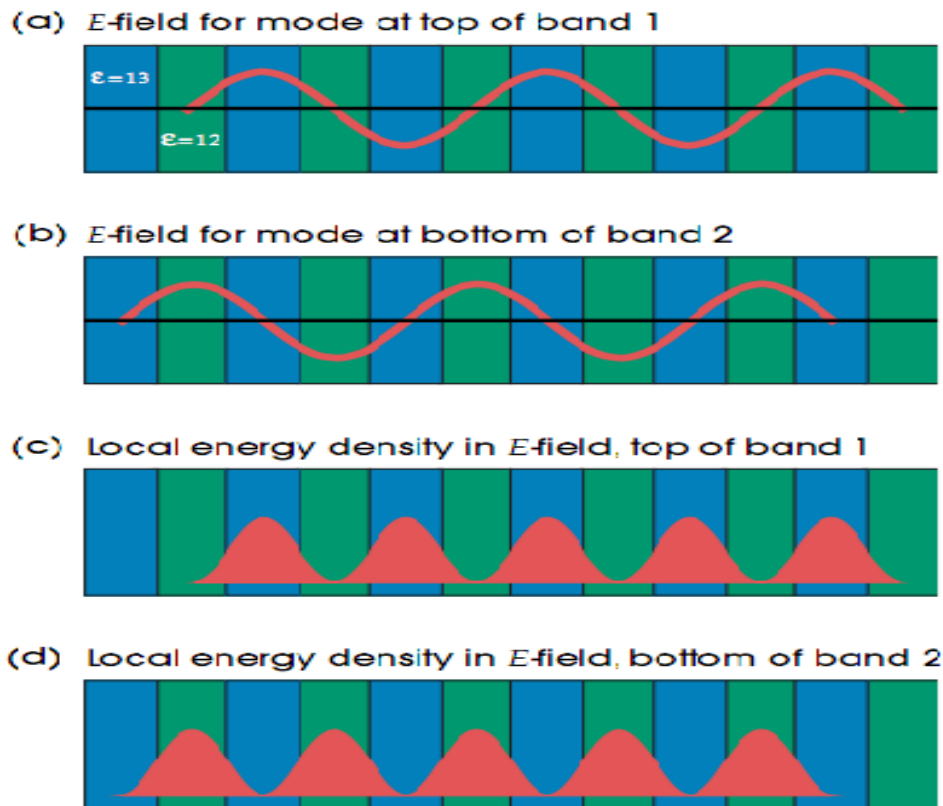
$$U_f(\mathbf{H}) = \frac{(\nabla \times \mathbf{E}, \nabla \times \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \epsilon(\mathbf{r})\mathbf{E})} \quad (2.1)$$

$$= \frac{\int d^3\mathbf{r} |\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\int d^3\mathbf{r} \epsilon(\mathbf{r}) |\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}$$

ã ch ãr ãng, nh ãng mode ãi n t có t ãn s cao, thì t p trung ãng l ãng ãi n tr ãng c a nó trong vùng h ãng s ãi n môi th p, ãng c l ãi nh ãng mode ãi n t có t ãn s th p thì t p trung ãng l ãng trong vùng có h ãng s ãi n môi cao. Chính s t p trung ãng l ãng ãi n biên trên và biên d ãi c a vùng c m này, nó ã xu t hi n m t vùng mà không có b t c m t mode ãi n t nào ãnh x c . Vùng ó ch ãm t ãi t ãn s, và vùng ó chính là

vùng c m photonic. ây là ngu n g c v t lý hình thành nên vùng c m photonic cho c u trúc tinh th photonic 1D

Mô t mode dao ng và m t n ng l ng c a i n tr ng trên nh và ây vùng c m photonic thông qua mô hình sau:



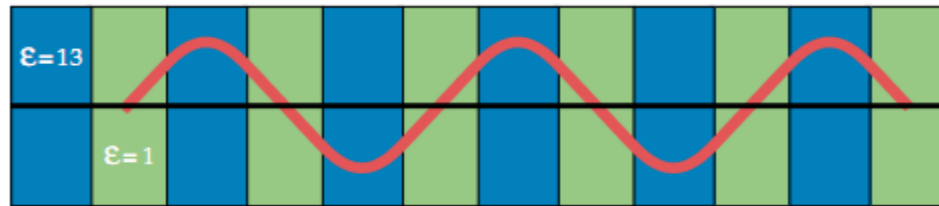
Hình 2.3 : mô t s phân b n ng l ng i n tr ng trong c u trúc vùng cho vùng 1 và vùng 2 theo lý thuy t bi n phân ã ch ra

Qua **hình 2.3** ta th y r ng ,s phân b i n tr ng gi a 2 vùng trên không có s khác bi t l n gi a 2 , d n n có m t vùng nh ch a các t n s không c phép, do ó s t p trung n ng l ng i n tr ng gi a 2 vùng có chênh l ch l n, thì vùng c m s càng r ng (nh

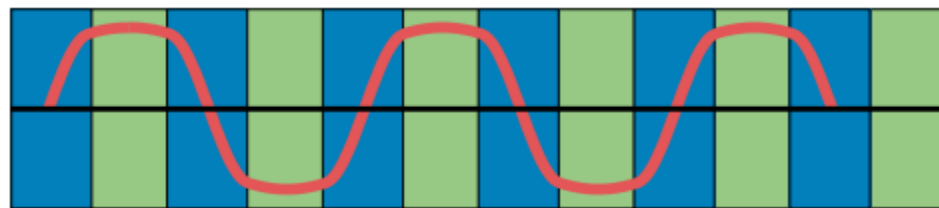
vùng c m trong tr ãng h p 3 c a hình 2.2 . ch ênh l ch c a s t p trung n ãng l ãng i n tr ãng t l v i sai khác h ãng s i n môi c a 2 m àng.

S t p trung n ãng l ãng i n tr ãng c a tr ãng h p này c mô t nh sau:

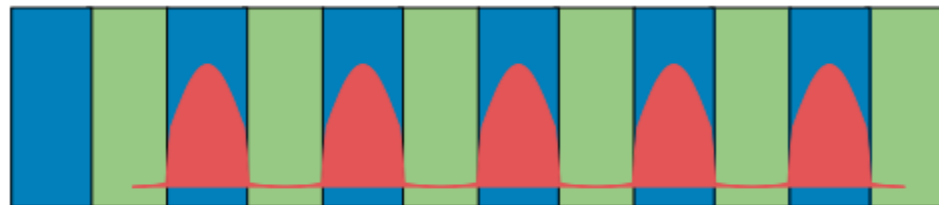
(a) *E*-field for mode at top of band 1



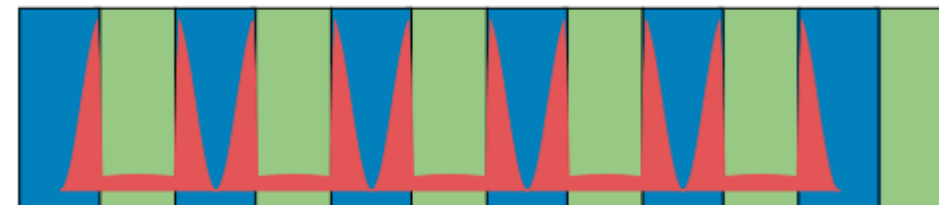
(b) *E*-field for mode at bottom of band 2



(c) Local energy density in *E*-field, top of band 1



(d) Local energy density in *E*-field, bottom of band 2



Hình 2.4: mô t s t p trung n ãng l ãng i n tr ãng c a 2 vùng 1 và 2 có ch ênh l ch cao

K t lu n : tinh th photonic 1D luôn luôn có vùng c m xu t hi n, vùng c m c m ra ngay khi có s khác bi t h ng s i n môi gi a hai màng khác ch t nhau. r ng c a vùng c m tùy thu c vào chên h l ch c a s t p trung n ng l ng i n tr ng trong 2 vùng , hay chên h l ch gi a 2 h ng s i n môi c a 2 màng t ng ng

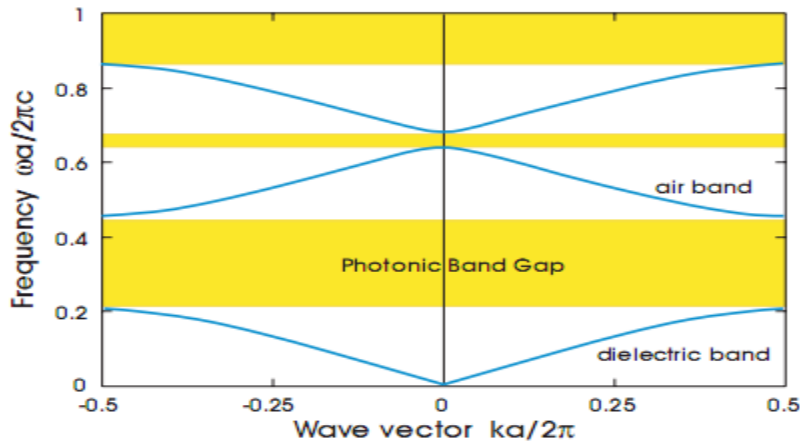
2.1.3. r ng vùng c m tinh th photonic

r ng c a vùng c m photonic c a tinh th photonic 1D nh ã nói trên , thì nó ph thu c vào sai l ch gi a hai h ng s i n môi ϵ_1 và ϵ_2 c a hai màng i n môi t ng ng. N u l ch nhi u thì r ng vùng c m photonic l n và ng c l i.

r ng vùng c m c nh ngh a b ng thu t ng thông d ng : **Gap-mid gap ratio** (có ngh a là r ng ph (ph là t n s) b ng ngang vùng c m chia cho t n s gi a vùng c m).

ánh giá r ng vùng c m theo công th c này có u i m chính xác, và công th c không h có s ph thu c vào kích th c c a tinh th photonic 1D.

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_m} \approx \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{\sin(\pi d/a)}{\pi} \quad (2.2)$$



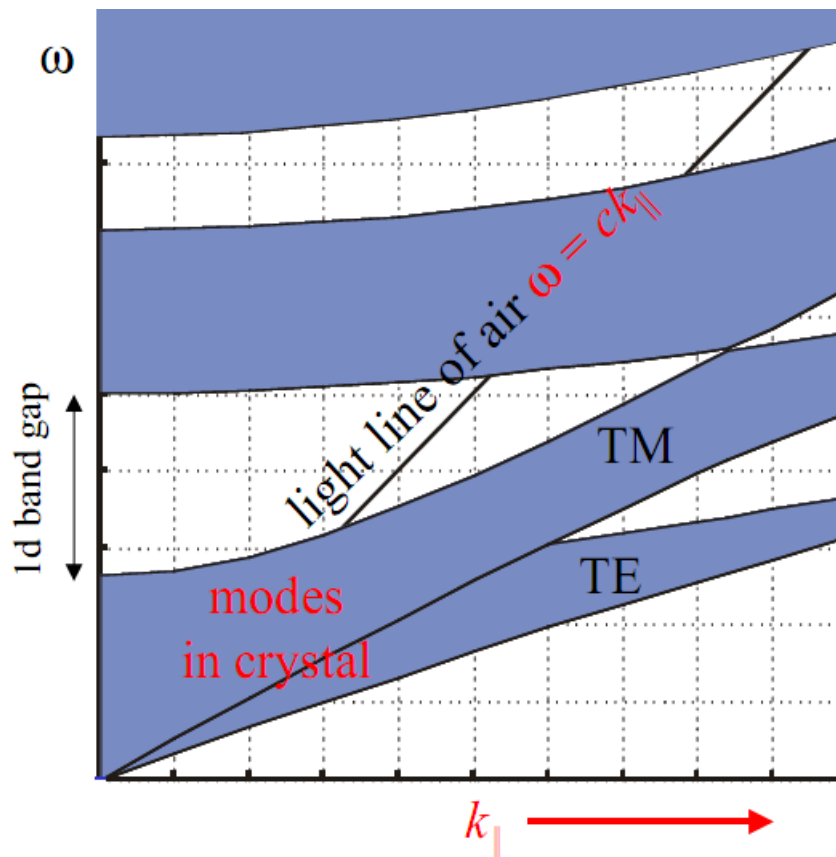
Hình 2.5: c u trúc vùng tinh th photonic 1D

Qua công th c trên ta bi t c r ng c a vùng c m , t c là r ng vùng t n không c phép so v i toàn c u trúc vùng c a tinh th photonic 1D là bao nhiêu ph n tr m , ánh giá kh n ng t ng tác c a ánh sáng v i v t li u này nh th nào.

2.1.4.Tr ng thái m trong vùng c m photonic

Ta bi t r ng trong vùng c m photonic không có b t c tr ng thái i n t nào t n t i c , hay nói cách khác không có m t mode i n t nào c phép truy n qua tinh th ,mà có t n s n m trong vùng c m photonic c .

Ta ã bi t r ng : các tr ng thái quang h c c a tinh th v à môi tr ng không khí c th hi n thông qua hình sau:



Hình 2.6: gi n mô t các tr ng thái trong không khí v à tinh th

Trên **hình 2.6** ta thấy rằng, sóng xiên góc màu đen đó chính là sóng ánh sáng c a không khí, trên sóng này đó là nón ánh sáng, các trạng thái trong nón này mở rộng ra ngoài không khí, và là những trạng thái liên tục. (chúng cũng là các trạng thái mở rộng). Những trạng thái di chuyển ánh sáng này, đó chính là những trạng thái trong tinh thể, (vùng màu xám). Vùng màu trắng còn lại di chuyển ánh sáng đó chính là vùng những trạng thái mở rộng. Như những vùng màu xám này không xen kẽ lên nhau, thì limit khoảng màu trắng, đó chính là vùng cấm.

Trong vùng cấm, chỉ có những trạng thái mở rộng, mà trạng thái mở rộng là một trạng thái suy giảm khi đi vào trong tinh thể, cách xa biên tinh thể càng nhiều, thì suy giảm càng mạnh, dẫn đến bất tri tiêu và không thể lọc ra biên kia của tinh thể.

Do tính chất trên vector sóng k không thực, vậy nó là dạng phức, và có dạng như sau:

$$k + i\kappa. \quad (2.3)$$

Bởi vì vector sóng là phức, nên biên sóng suy giảm theo hàm mũ khi nó đi vào tinh thể (tính chất hàm phức). Khi ta nói không có trạng thái liên tục nào tồn tại trong vùng cấm, có nghĩa là trong vùng cấm nó không có trạng thái mở rộng, mà như ta đã biết **hình 2.6** trên thì trong vùng cấm chỉ tồn tại duy nhất **trạng thái mở rộng** (evanescent state), vậy quá trình sóng thành phần trạng thái mở rộng có dạng như sau:

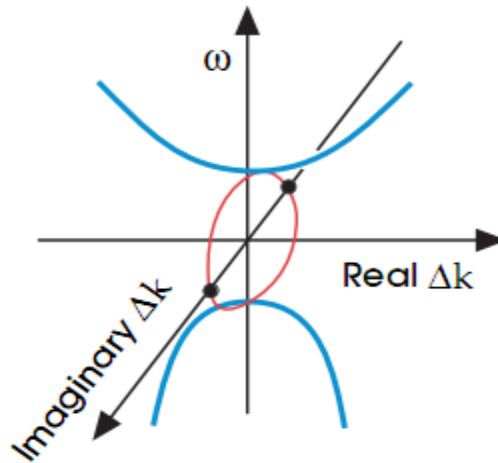
$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = e^{ikz} \mathbf{u}(z) e^{-\kappa z}. \quad (2.4)$$

Trong 2.4 ta thấy thành phần mũ cho biên giảm đó chính là $e^{-\kappa z}$.

Hiện rõ hơn ta xét thêm vùng sát bên vùng cấm thì như thế ($n=2$: vì n là chẵn vùng), ta có các phương trình sau:

$$\Delta\omega = \omega_2(k) - \omega_2\left(\frac{\pi}{a}\right) \approx \alpha \left(k - \frac{\pi}{a}\right)^2 = \alpha(\Delta k)^2 \quad (2.5)$$

M i quan h c a ph ng trnh này c th hi n qua th :



Hình 2.7: mô t c u trúc vùng ph c c a màng a l p (tinh th photonic 1D)

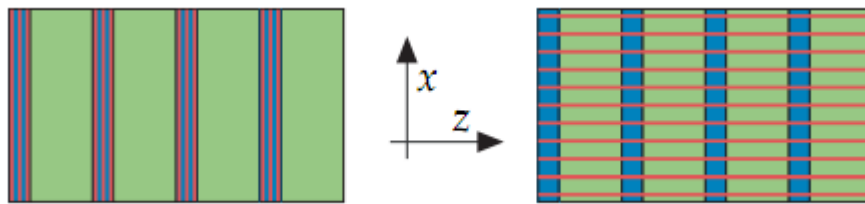
Qua **hình 5** ta bi t r ng: N u chi u ánh sáng vào tinh th photonic 1D có t n s cao h n nh c a khe c m, có ngh a $\Delta\omega > 0$, vector sóng k hoàn toàn là th c, có ngh a là tr ng thái i n t c a nó hoàn toàn n m vùng 2. Có ngh a là ánh sáng c phép truy n qua tinh th . C ng gi ng nh bên c u trúc vùng n ng l ng c a bán d n là i n t có n ng l ng cao trên vùng d n và s n sàng tham gia quá trình d n n u có tr ng ngoài áp vào.

Ng c l i n u chi u ánh sáng có t n s nh h n nh c a khe c m thì $\Delta\omega < 0$, vector sóng k hoàn toàn là o, lúc này b c x có t n s n m trong vùng c m , có ngh a là tr ng thái c a b c x này s trong vùng c m .Tr ng thái này chính là tr ng thái m mà ta mu n c p n. Do tính ch t ph c c a vector sóng k, nên mode i n t có t n s n m trong vùng c m, khi chi u n t b m t tinh th nó s b suy gi m theo hàm m và suy gi m c c i khi tỉ n n tr ng thái gi a vùng c m quang . i u này d n n không có ánh sáng ló ra kh i vùng c m. Có ngh a mode i n t s b tri t tiêu khi i vào tinh th , và không th nào ló ra c khi nó có t n s trong vùng c m .Liên t ng c ng gi ng nh tr ng h p vùng c m ch t bán d n, n u nh m t electron ang n m trong vùng hóa tr , n u không k n y u t nhi t

và các tác nhân khác, thì không cách nào electron này có thể nhảy lên vùng dẫn (vùng 2) tham gia quá trình dẫn.

Nhìn xét kỹ về tinh thể photonic 1D hay là màng mỏng, sẽ không có sự thâm nhập ánh sáng vào bên trong tinh thể như ánh sáng chiếu vào có tần số nằm trong vùng cấm, hay nói cách khác ánh sáng chiếu vào đó có trạng thái quang học là trạng thái mờ.

Một khái niệm nữa ta cần quan tâm đó là truyền ánh sáng theo trục m và trục t, mà đây có nghĩa là truyền ánh sáng theo hướng tu hoàn, có vùng cấm cấm ra khi có sự khác biệt giữa hai hướng sóng trong môi trường hai màng. Còn truyền sóng theo trục t (trục x), đó là truyền ánh sáng phẳng vuông góc với trục m, có nghĩa là truyền ánh sáng vào trong môi trường in môi. Truyền sóng theo phẳng này hoàn toàn không có sự chênh lệch tần số như truyền sóng theo trục m (trục z)

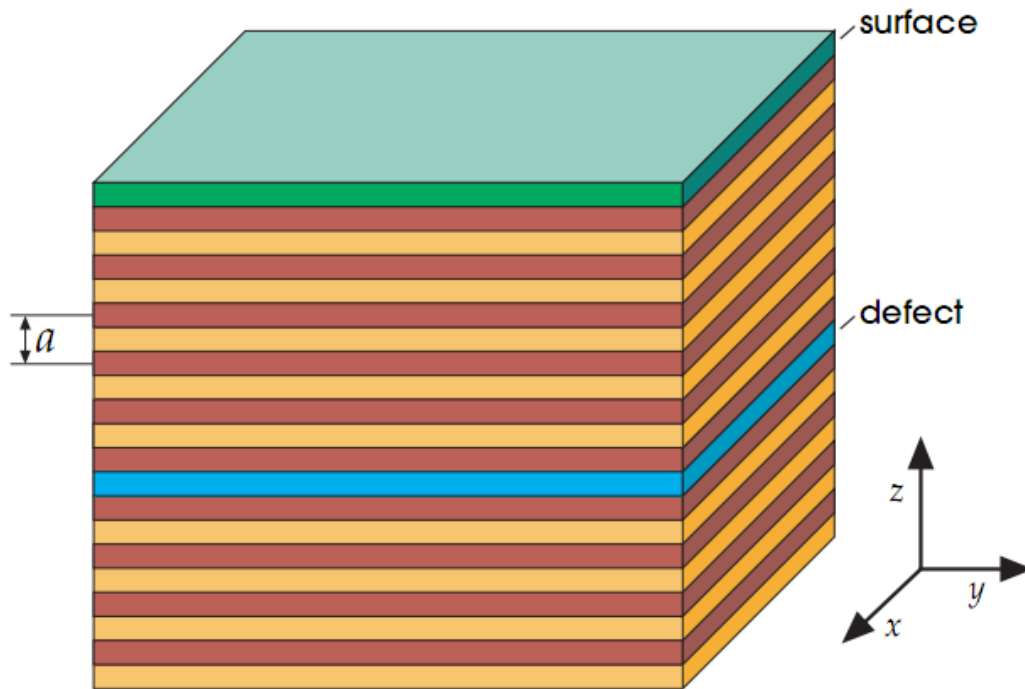


Hình 2.8: a. Truyền sóng theo trục t t

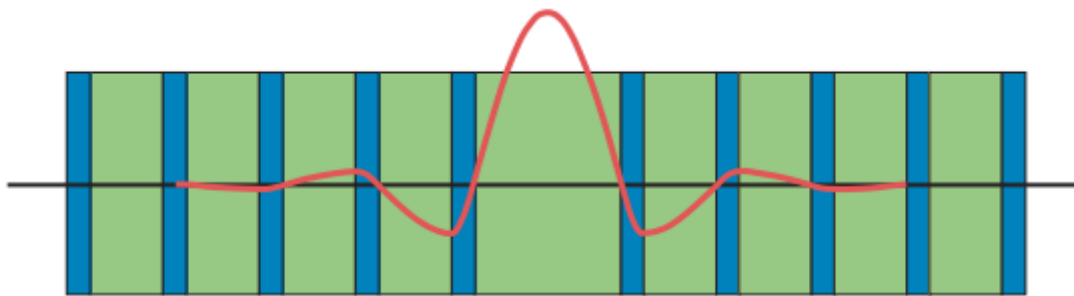
b. Truyền sóng theo trục m

2.1.5. Nhiễu ánh sáng bằng sai hỏng

Mô hình sai hỏng:



Hình 2.9: sai h ng là m t màng có h ng s i n môi khác so v i tinh th photonic 1D



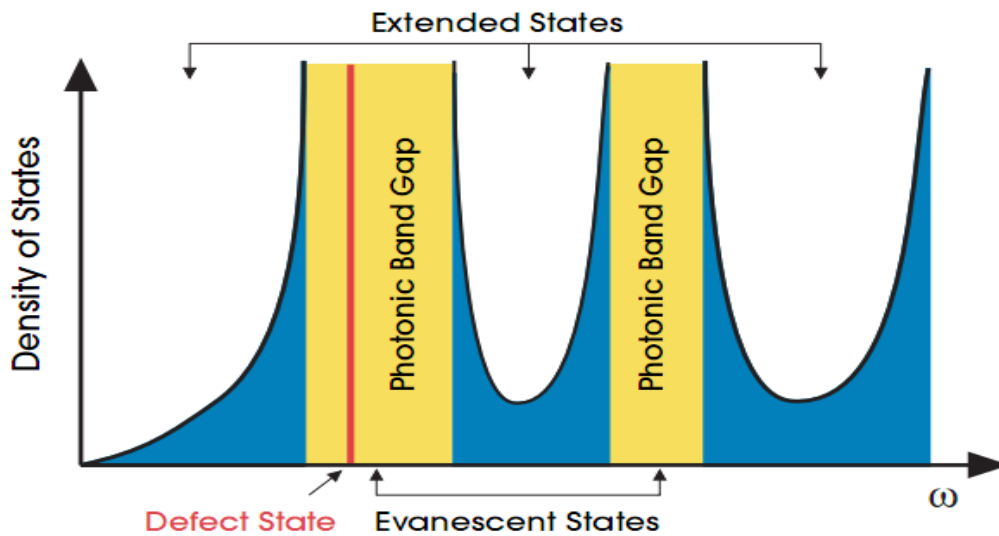
Hình 2.10: sai h ng là đ ng kép c a màng có h ng s i n môi th p

Trong màng n l p , nh ng mode i n t c phép truy n i m t cách bình th ng , không có s ch n l c t n s , có ngh a là không có s c n tr nh ng sóng i n t dù b t c t n s nào. N u nh tinh th photonic 1D c ng nh v y , thì ch ng có gì là thú v v i tinh th photonic c . M t khác cái tính ch t quan tr ng c a tinh th photonic 1D l à tính l c ánh

sáng và có khả năng nh v ánh sáng b ng sai h ng v i t n s b c bu c là n m trong vùng c m.

Ta bi t r ng , ánh sáng có t n s trong vùng c m, khi chi u n b m t c a tinh th photonic 1D, n ng l ng i n t c a nó s suy gi m theo hàm m , và s suy gi m m nh khi sóng i n t t i n n tr ng thái gi a vùng c m .Nhìn vào ph ng trình bên d i ,ta th y t tr ng $H=0$ khi k là c c i. Do v y cho k không c c i, hay ng n ch n s suy gi m m nh thì ta ph i t o ra m t sai h ng có tr ng thái gi a vùng c m trong c u trúc tinh th , b t l y ánh sáng này và không cho nó tri t tiêu . i u này hoàn toàn có th , b i vì sai h ng c t o ra s có tr ng thái n m trong vùng c m(tr ng thái sai h ng) , mà trong vùng c m ch có tr ng thái m , nh v y chính tr ng thái sai h ng này s cho ánh sáng nh v và b t gi ánh sáng , bu c ánh sáng ph i i theo chi u c a nó . Lúc này 2 biên c a tinh th sai h ng óng vai trò nh hai g ng ph ng ph n x ánh sáng, làm cho ánh sáng truy n xuyên su t gi a hai m t tinh th , d i c ch ph n x

$$H(\mathbf{r}) = e^{ikz} \mathbf{u}(z) e^{-\kappa z}. \tag{2.6}$$

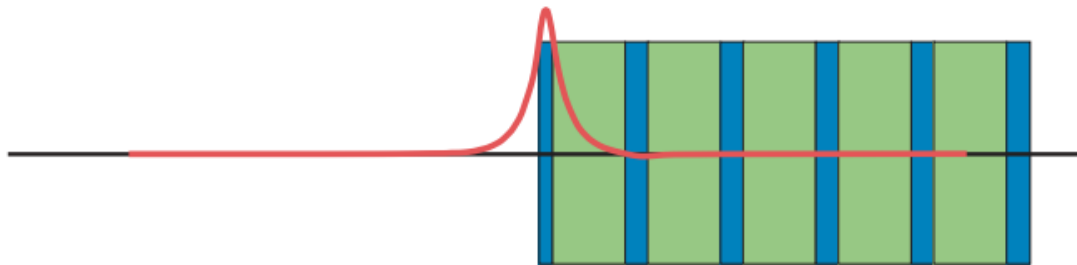


Hình 2.11: mô t phân b m t tr ng thái theo c u trúc vùng có sai h ng.

Qua th trên ta th y m t tính ch t r t tuy t v i ó là sai h ng c t o ra, thì nó s xu t hi n m t peak tr ng thái bên trong vùng c m . Chính peak tr ng thái này, cho phép nh v ánh sáng. Vì khi này tr ng thái m c a ánh sáng s k t h p v i tr ng thái sai h ng cho phép truy n sóng ánh sáng d c theo 2 biên c a sai h ng.

2.1.6. nh v ánh sáng tr ng thái b m t

N u nh vì c nh v ánh sáng b ng tr ng thái sai h ng trong vùng c m, thì ta c ng có cách khác nh ánh sáng b ng tr ng thái b m t, trên nguyên t c, tr ng thái này c nh v trong vùng c m. Do ó ta l a ch n ánh sáng chi u n có t n s thích h p cho kh n ng nh v ánh sáng trong b m t.



Hình 2.12: mô t nh v ánh sáng b ng b m t

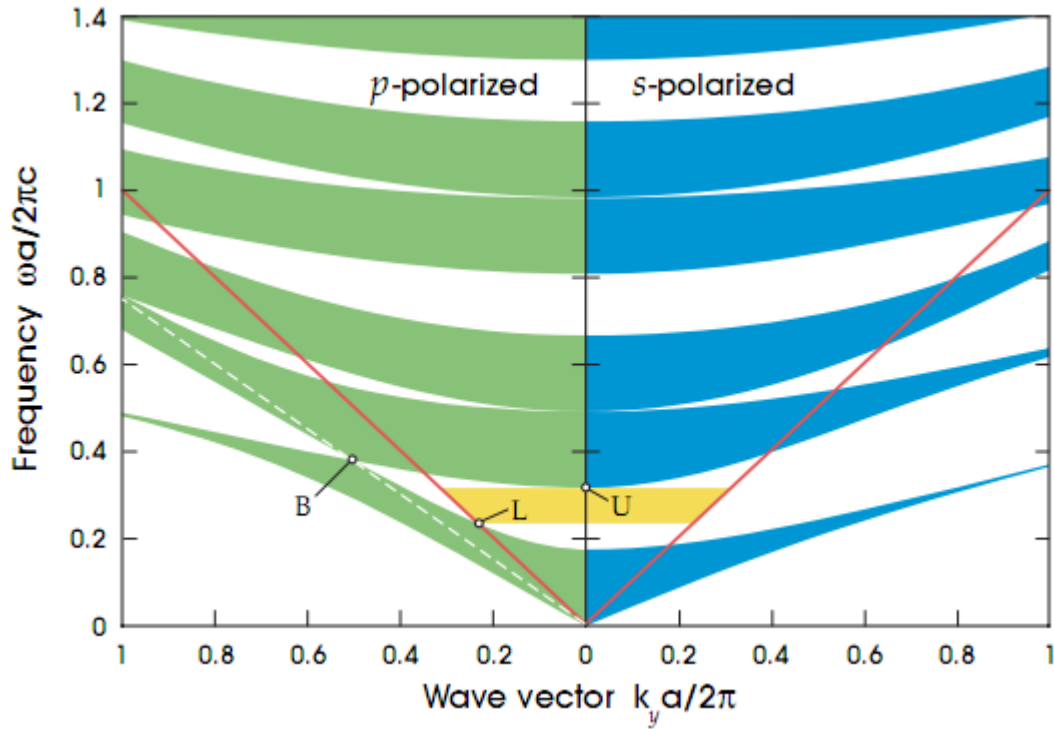
2.1.7. G ng ph n x m i h ng

Ta bi t r ng, nh ng trong c u trúc vùng quang h c, ng ánh sáng là ranh gi i gi a tr ng thái m r ng bên trong không khí (trên ng ánh sáng) , d i ng ánh sáng là tr ng thái m và tr ng thái bên trong i n môi.

Ng i ta v n có th thi t k c m t màng a l p cho m c ích ph n x m t t n s xác nh tr c. Nguyên t c thi t k màng a l p cho ph n x , tuân th theo 2 nguyên t c sau:

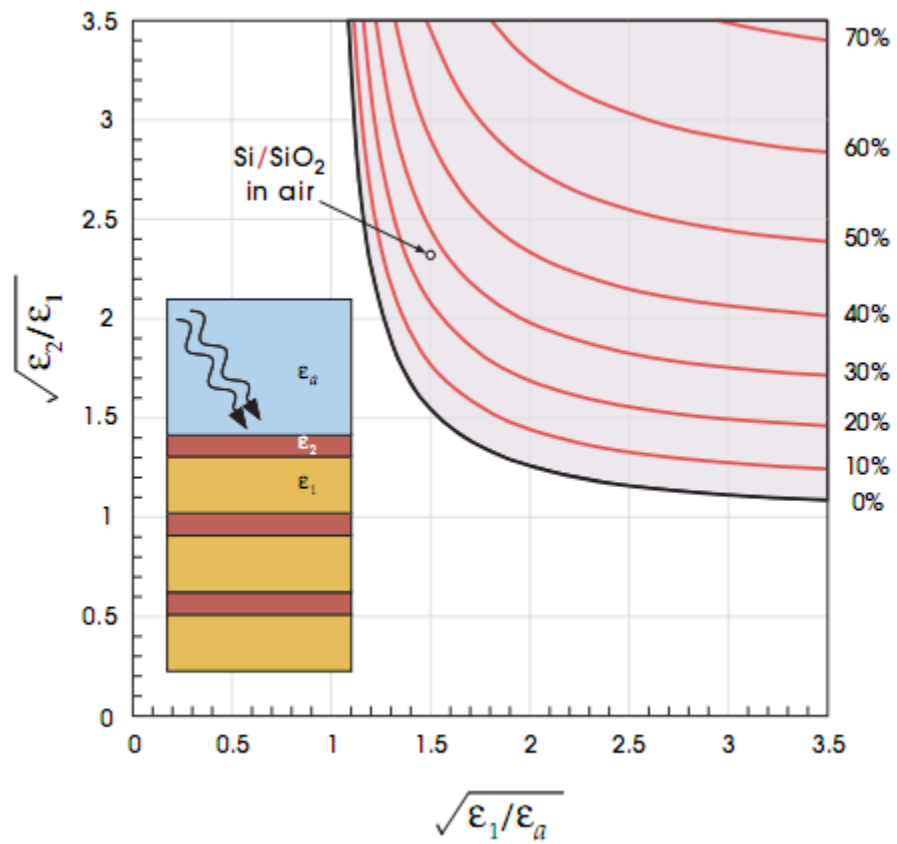
- a. k_{\parallel} ph i t n t i trong m t giao ti p gi a các màng i n môi.
- b. Ánh sáng chi u vào b m t c a màng ph i có t n s $\omega > c|k_{\parallel}|$.

Chú ý: s l p i n môi c àng nhi u, h s ph n x c a m àng a l p c àng cao.



Hình 2.13. th mô t vùng t n s cho ph n x m i h ãng

Và vùng c m photonic cho lo i g ãng cho ph n x m i h ãng và m i phân c c này c mô t theo quan h gi a các h ãng s i n môi c a không khí, c a 2 lo i m àng), c mô t ãng qua hình sau:



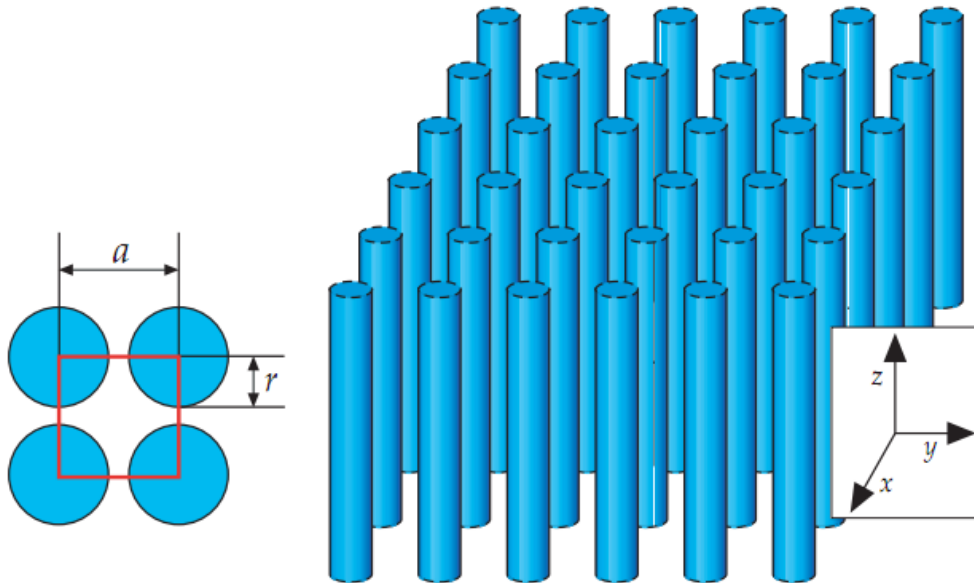
Hình 2.14: kích thước của vùng cấm cho photon xấp xỉ hình ảnh là hàm của các hằng số môi trường

2.2.Tinh th photonic 2D

2.2.1. nh ngh a:

Tinh th photonic 2D là s s p x p tu n hoàn v t li u i n môi d c theo 2 tr c (x ,y) và ng nh t theo tr c th 3 (z)

Tinh th photonic 2D có 3 mô hình thi t k r t c tr ng , m i mô hình có nh ng tính ch t c s c riêng . Và l n l t ta s tìm hi u t ng mô hình , tr c tiên ta tìm hi u mô hình sau:



Hình 2.15: m ng vuông c a các rod i n môi tinh th photonic 2D, c c m trên bán d n

m ng này chúng ta t ng t ng r ng các rod i n môi s p x p tu n hoàn trong 2 ph ng x và y. Các rod i n môi c m r ng ng nh t theo h ng z vô h n (cao vô h n). Ng c l i v i tr ng h p 1D, vai trò c a 2 vector sóng kz và k// o cho nhau . T c là c u trúc này, vector sóng kz không b gi i h n trong vùng brillouin , thay vào ó là vector sóng k// b gi i h n trong vùng brillouin . C u trúc m ng ki u này , s có vùng c m photonic

xu t hi n , ánh sáng t i s b ph n x tr l i . Không nh tr ng h p c a màng a l p (tinh th photonic 1D) , c u trúc tinh th photonic 2D lo i này có th ng n c n ánh sáng t b t c ph ng truy n nào trong m t (xy), s ph n x là b t bi n trong m t xy , d i m i h ng, m i phân c c , n u nh t n s b c x chi u n n m trong vùng c m

D a vào s i x ng và tu n hoàn c a tinh th ,ng i ta s phân lo i các mode i n t khi t ng tác v i môi tr ng tinh th . Trong tr ng h p tinh th photonic 2D này, ta ch quan tâm phát tri n h ng nghiê n c u theo ph ng tu n hoàn x và y . Chính vì h ng tu n hoàn và i x ng r i r c c a tinh th photonic 2D này m i cho ta các tính ch t thú v . Th c v y trong c u trúc tinh th photonic 2D nói chung , có i x ng g ng trong m t xy . Nê n mode i n t b phân tách ra 2 lo i phân c c c b n : TM (transverse magnetic) và TE (transverse electric) khi t ng tác v i tinh th 2D.

Do s phân c c này nê n tinh th photonic 2D này c ng có nh ng ki u c u trúc vùng c tr ng h n cho mode TM và TE. Chúng ta s l n l t tìm hi u bên d i ây. Do s r i r c và gián o n c a t n s , nê n mode i n t kh o sát trong tinh th 2D này c ng ph i áp d ng lý thuy t bloch kh o sát, mode i n t theo bloch có d ng nh sau:

$$\mathbf{H}_{(n,k_z,k_x)}(\mathbf{r}) = e^{ik_x \rho} e^{ik_z z} \mathbf{u}_{(n,k_z,k_x)}(\rho). \quad (2.7)$$

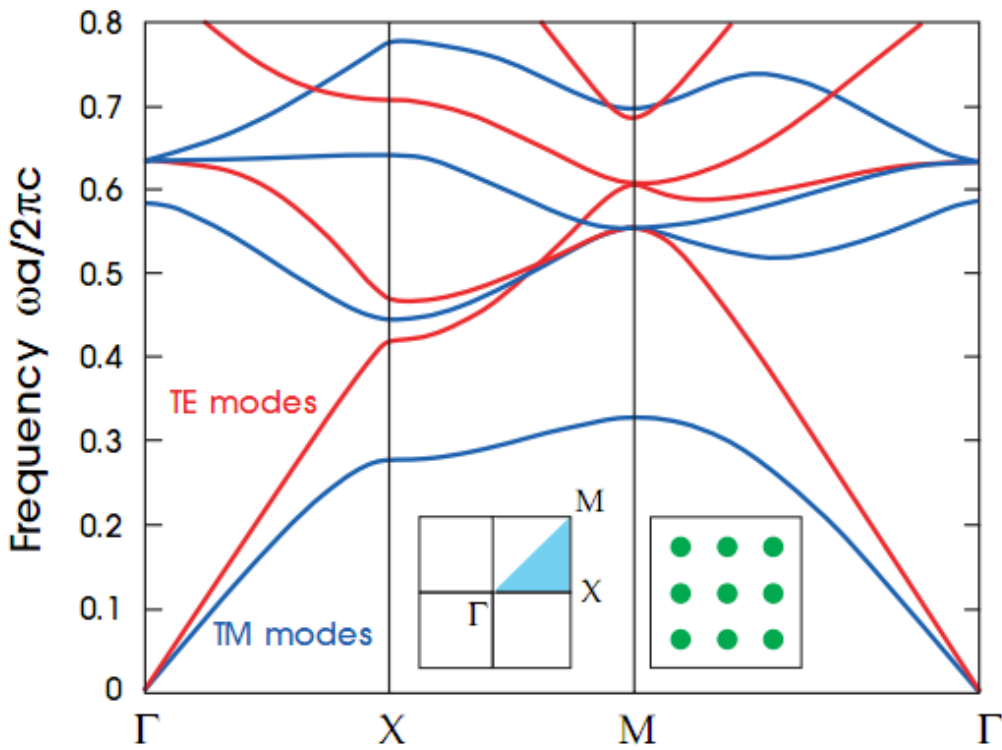
Trong ó: H : là c ng t tr ng; u là hàm tu n hoàn có d ng $u(\rho) = u(\rho + R)$, R b i nguyên l n c a h ng s m ng a, ρ là hình chi u c a vector r xu ng m t xy ; $k//$ chung cho vector sóng truy n trong m t xy ; kz : vector sóng truy n theo h ng z ;

Trong tr ng h p 2D này : $k//$ b gi i h n n vùng brillouin và kz không b gi i h n. Trong tr ng h p này ta ch xét $k//$, do ó kz không có c n thi t nghiê n c u , nê n ta xét $kz = 0$, có ngh a là ch chú tr ng nghiê n c u s t ng tác mode i n t v i tinh th photonic 2D trong m t xy mà thôi.

Tính ch t phân c c c a 2 mode TM và TE khác nhau do ó d n t i c u trúc vùng cho 2 mode này c ng khác nhau hoàn toàn . Có th có vùng c m cho phân c c này, nh ng không có vùng c m cho mode kia. C ng nh tr ng h p 1D ta c ng tìm hi u v vùng c m , ngu n g c hình thành và cách th c nh v ánh sáng. Nh ng ch có i u là c s c h n 1D ch :

trong 2D có vùng cấm cho từng mode phân cực và có vùng cấm kết hợp 2 mode (vùng cấm hoàn toàn).

2.2.2.Vùng cấm cho mode TM



Hình 2.16 : Cấu trúc vùng mang vuông của các rod i n môi

Trong hình 2.16 trên ta thấy cấu trúc vùng cho 2 mode TE và TM có biểu diễn cho mang vuông là các rod môi nằm nhúng trong không khí, và mang ngang trên hình 2 nó biểu diễn các phương truyền sóng thông qua 2 phương biểu thị là phương $\Gamma \rightarrow X$, phương $\Gamma \rightarrow M$. Trong đó các các điểm Γ , X và M là các điểm đặc biệt, để xây dựng nên tensor mang. Nếu vector sóng dịch chuyển từ Γ đến X đến M như sẽ dịch chuyển từ góc Γ đến X đến M trong cái nêm tam giác màu xanh (hình như gi a

hình 2.16) .Cái nê m tam giác này chính là vùng Brillouin không th rút g n, vùng brillouin c quan h là m t nê m tam giác, do c u trúc tinh th photonic 2D có i x ng quay.

Ba i m Γ, X, M t ng ng v i t a nh sau:

$$k_x = 0, k_y = \pi/a\hat{x}, \text{ and } k_z = \pi/a\hat{x} + \pi/a\hat{y}. \quad (2.8)$$

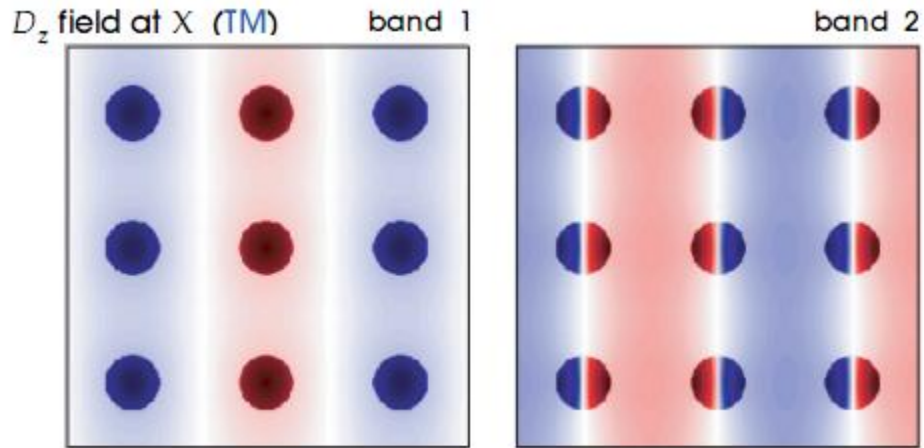
Đ a vào hình 2 trên ta nh n th y r ng trong m ng vuông i n môi có xu t hi n v ùng c m cho mode TM là kho ng 31,4% (gap-mid gap ratio) vùng 1 và vùng 2, còn mode TE không có xu t hi n vùng c m . C ng t ng t nh tr ng h p 1D , lý thuy t bi n phân c ng c áp d ng gi i thích nguyê n nhân c a s hình thành vùng c m quang cho c u trúc 2D Nh c l i công th c bi n phân :

$$\text{H s t p trung n ng l ng i n tr ng} \triangleq \frac{\int_{\epsilon=8.9} d^3\mathbf{r} \epsilon(\mathbf{r}) |\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\int d^3\mathbf{r} \epsilon(\mathbf{r}) |\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}. \quad (2.9)$$

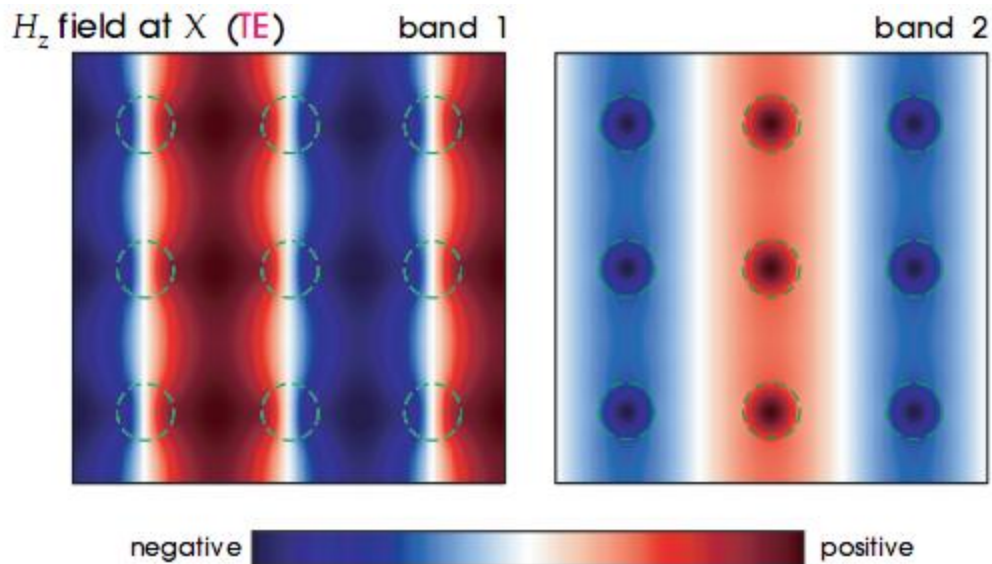
T lý thuy t bi n phân, ta xây d ng c công th c (2.9) trên tính t l t p trung n ng l ng i n tr ng trong vùng i n môi là bao nhiêu . C u trúc vùng cho mode TM , có ngh a là i n tr ng nh v và d ch chuy n m nh d c theo các rod i n môi, nê n ch có thoát n ng l ng i n tr ng rò ra môi tr ng không khí m t l ng nh (i u ki n tr c giao). (mô t **hình 2.17**), chính i u này ã d n n có chên h l ch áng k s t p trung n ng l ng i n tr ng trong 2 vùng i n môi và không khí .Con s c th c tính toán t công th c (2.9) v s t p trung n ng l ng i n tr ng cho 2 vùng này nh sau: vùng i n môi là 83 % , còn vùng không khí là 32%.

Ng c l i c u trúc vùng cho mode TE , có ngh a là i n tr ng s n m trong m t xy, i n tr ng này d ch chuy n b ng ngang các rod i n môi (m t c t b ng ngang các rod i n môi là hình tròn) , nê n s t p trung n ng l ng i n tr ng không cao. H n n a do i u ki n tr c giao trong lý thuy t bi n phân ch ra, nê n bu c ph i rò r ra vùng không khí m t ph n n ng l ng i n tr ng .Chính vì s t p trung th p vùng i n môi và c ng thêm s d ch chuy n n ng l ng i n tr ng ra không khí , d n n chên h l ch n ng l ng i n tr ng trong 2 vùng này không áng k , nê n vùng c m không th xu t hi n cho mode TE . (mô t **hình 2.18**). C th 23% trong i n môi, 9% trong không khí.

Sau đây là các mô phỏng cho sự dịch chuyển tần số trong các cấu trúc môi trường 2 tầng hình p TE và TM tại vị trí X, minh chứng cho sự phân bố cấu trúc tần số trong 2 mode đó

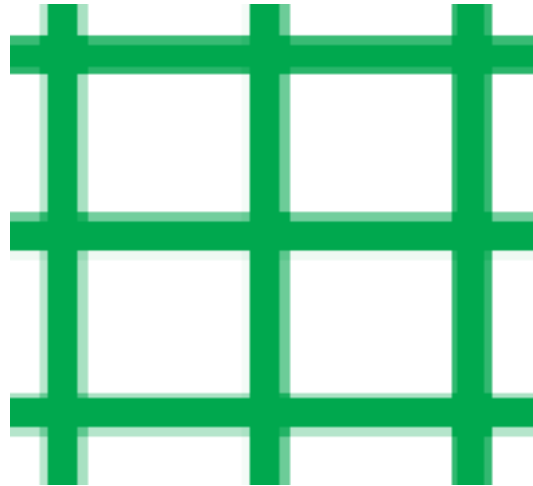


Hình 2.17: mô phỏng sự dịch chuyển tần số cho mode TM tại vị trí X



Hình 2.18: Mô phỏng sự dịch chuyển tần số cho mode TE tại vị trí X

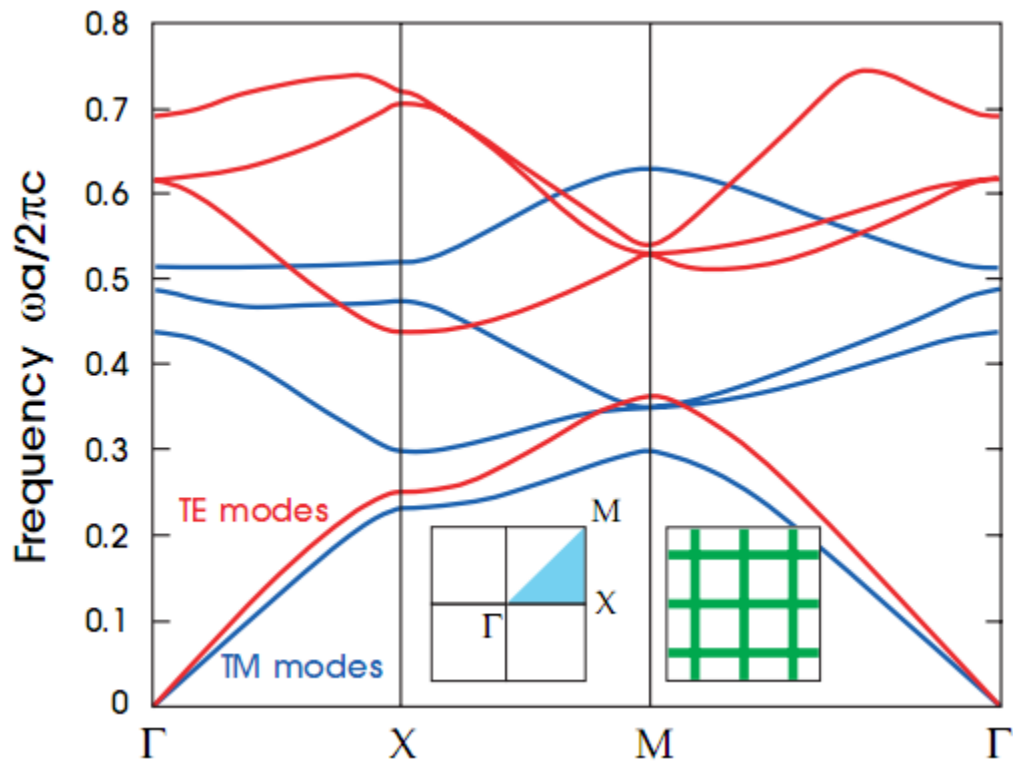
2.2.3.Vùng c m cho mode TE



Hình 2.19: m ng vuông c a các vein i n môi

Ta s kh o sát c u trúc m ng vuông các vein i n môi , c ng là d ng c u trúc tinh th photonic 2D ,**hình2.19** xem th có gì c bi t so v i d ng trên .

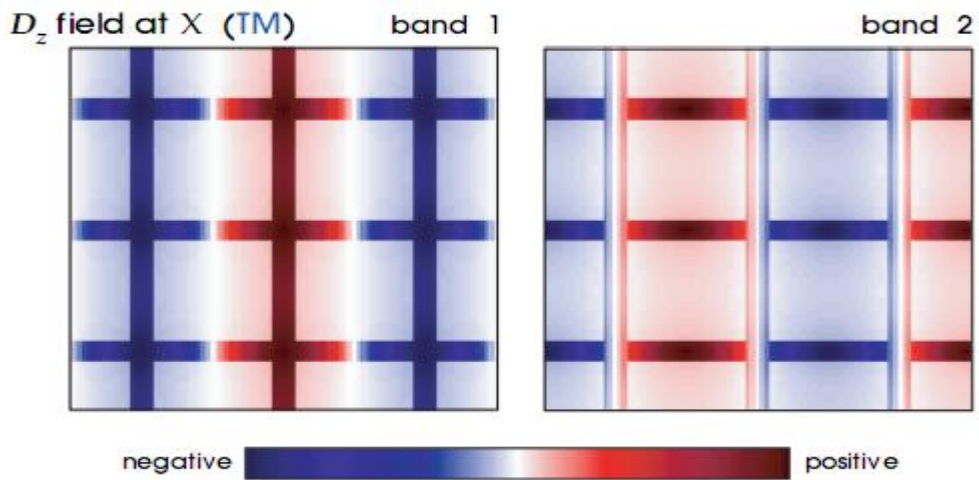
C u trúc vùng cho tinh th photonic 2D c a m ng vuông các vein i n môi có d ng nh sau:



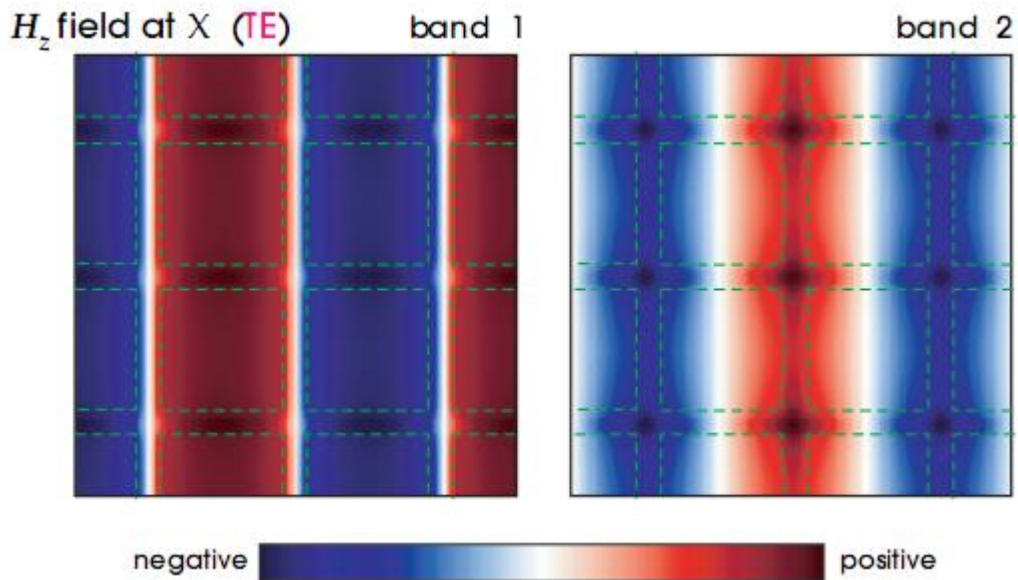
Hình 2.20: c u trúc vùng cho m ng vuông các vein i n môi

Nhìn vào hình 2.20 ta thấy rằng có vùng cấm cho mode TE mà không có vùng cấm cho mode TM, ta thấy rằng trong trường hợp này nó hoàn toàn ngược với trường hợp mạng vuông các rod i n môi.

Sở dĩ chuyển đổi ngược lại trong trường hợp cho mode TM và TE có mô tả hình bên dưới như sau:



Hình 2.21: mô t s d ch chuy n i n tr ng c a mode TM i m X



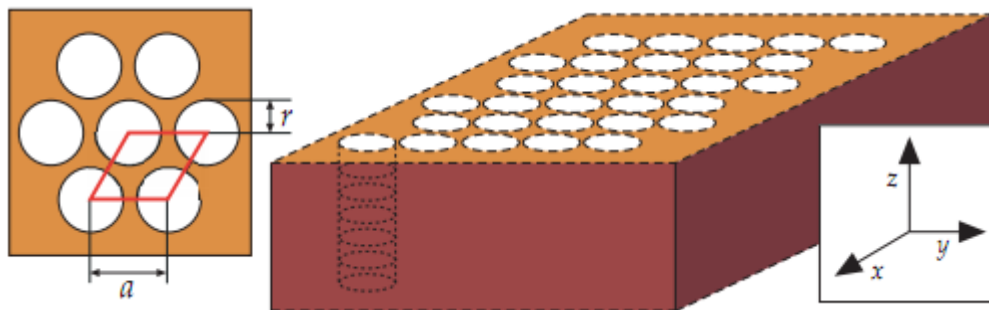
Hình 2.22: mô t d ch chuy n i n tr ng c a mode TE i m X

Nhìn vào hình 2.21 ta thấy rằng mode TM, năng lượng liên tục của d ch chuy n liên t c t các nút i n môi t o thành m t m ng liên t c nh các vein i n môi. Chính vì s d ch chuy n i n tr ng m t cách liên t c này, nên s phân b n ng l ng i n tr ng c 2 vùng i n môi và không khí không có s chênh l ch quá l n, do ó không có s xu t hi n vùng c m cho mode TM. C th : 89% cho i n môi và 77% cho không khí.

M t khác nhìn vào **hình 2.22** , Ta bi t r ng mode TE i n tr ng d ch chuy n D t p trung t i các vein i n môi khá l n, di n tích hi u d ng c a vein l n h n so v i các rod . Do ó nó t p trung ph n l n n ng l ng vein i n môi và ch m t ph n nh n ng l ng i n tr ng c a nó b y sang vùng không khí (thõa i u ki n tr c giao) , do ó có s chênh l ch n ng l ng i n tr ng áng k gi a 2 vùng .D n n xu t hi n vùng c m quang cho mode TE c u trúc m ng vuông các vein này. C th h s t p trung c tính chi ti t nh sau: có 83% trong i n môi và 14% trong không khí

2.2.4.Vùng c m photonic hoàn toàn

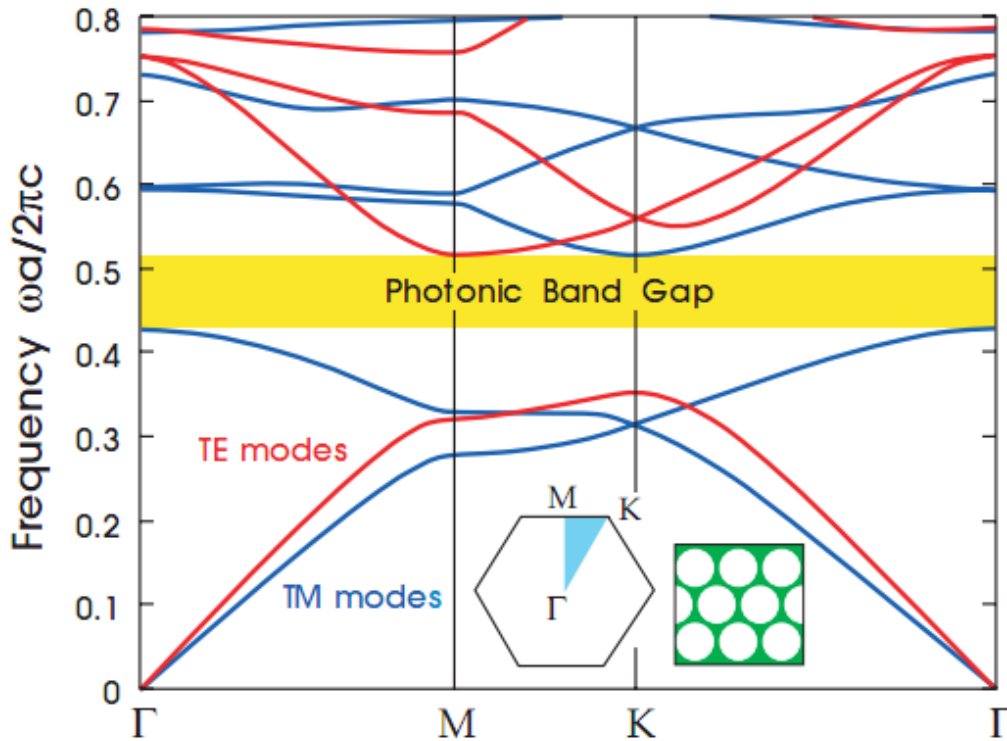
Các ph n tr c ta ã kh o sát vùng c m c l p cho các mode r i r c TE và TM . Th c ra s yêu c u th c t c n thi t k m t c u trúc tinh th photonic 2D sao cho có th có vùng c m xu t hi n cho c 2 phân c c (g i là vùng c m photonic hoàn toàn).



Hình 2.23: c u trúc tinh th photonic là m ng tam giác c a các hole không khí

T n g n g c hình thành vùng c m cho 2 mode TM và TE , làm cho các nhà khoa h c ngh ngay n ý t ng k t h p c 2 mode này b ng m t c u trúc tinh th photonic ki u sau:

C u trúc vùng cho tinh th photonic 2D ki u k t h p :

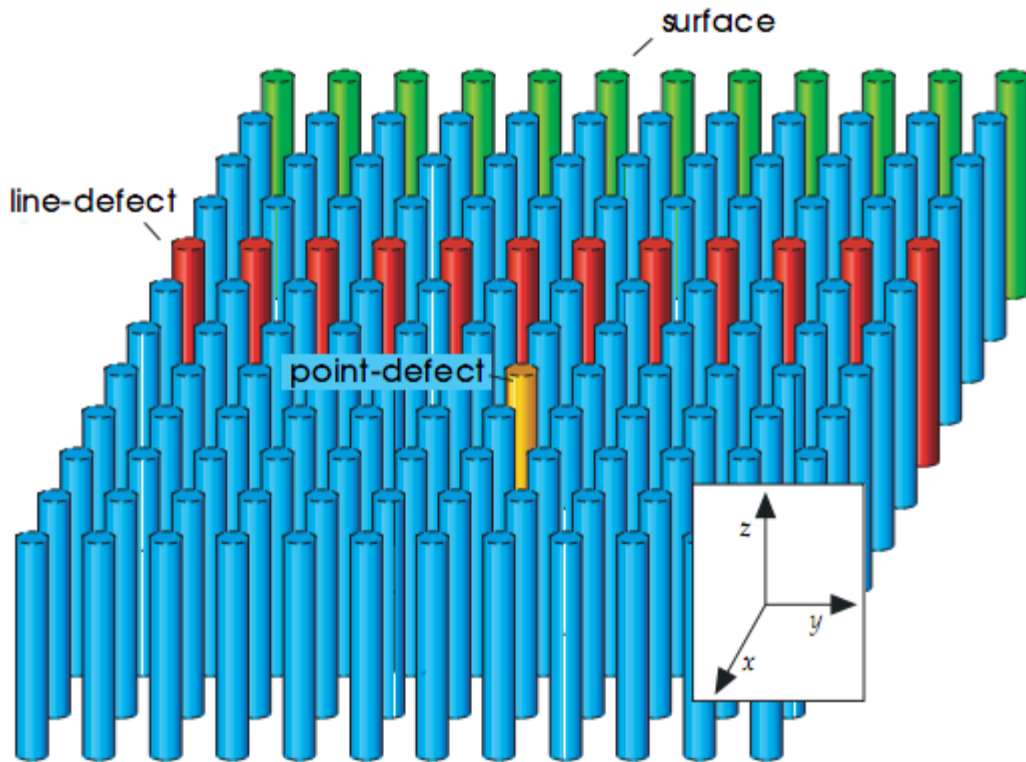


Hình 2.24: c u trúc vùng c m cho m ng tam giác c a các hole không khí

Nhìn vào c u trúc vùng quang h c trên c a m ng các hole không khí ta th y r ng có xu t hi n vùng c m ng th i cho 2 mode TE và TM ,vùng c m ki u này c g i là vùng c m photonic hoàn toàn . Ph n r i gi a c a hình này ó chính là vùng brillouin cho d ng m ng tam giác các hole, nê m tam giác màu xanh ó chính là vùng brillouin không th rút g n c. ph n r i nh bên c nh ó chính là m ng các hole i n môi mà ta kh o sát. C u trúc vùng nh th này h t s c c bi t là sinh ra vùng c m photonic hoàn toàn cho c 2 phân c c.

C u trúc photonic ki u này có h u ích trong các ng d ng th c t , nó không có tính ch n l c phân c c , dù cho ánh sáng n phân c c ki u gì ,mi n t n s c a nó n m trong vùng c m thì b c x này s b ph n x tr l i môi tr ng c .

2.2.6. nh v ánh sáng b ng sai h ng



Hình 2.25: mô hình các sai h ng c t o ra trong m ng vuông c a các rod i n môi

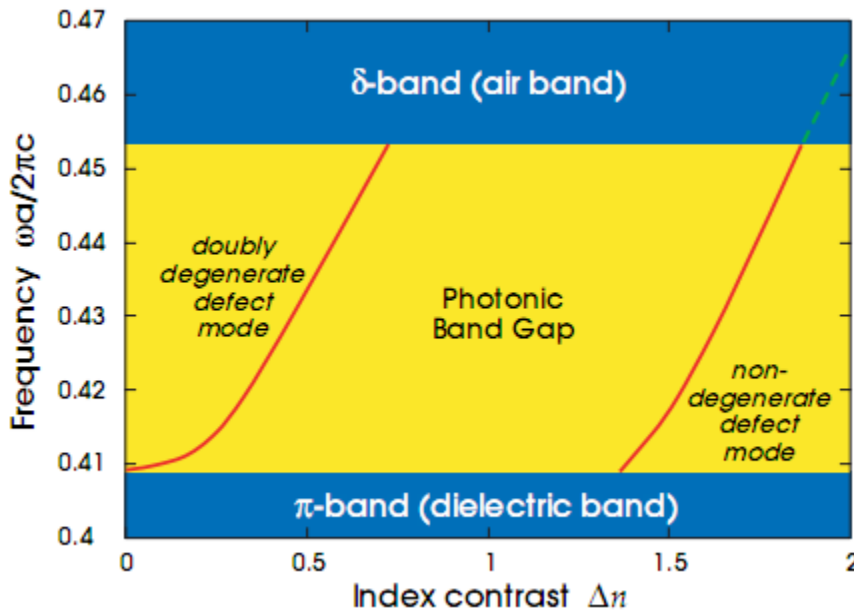
Cách th c nh v ánh sáng b ng sai h ng là duy nh t, d a trên nguyên lý nhi u lo n , ng i ta t o ra sai h ng cho tr ng thái sai h ng này n m trong vùng c m, b i vì trong vùng c m không có b t c m t tr ng thái i n t nào c phép, thay vào ó ch có tr ng thái m t n t i bên trong nó.

Trong c u trúc tinh th photonic 2D này có 2 cách nh v ánh sáng b ng sai h ng c b n ó là :

- + sai h ng i m (bu ng c ng h ng) – xem **hình 2.25**
- + sai h ng ng (ng d n sóng). -- xem **hình 2.25**

Trong sai h ng i m có nh ng cách t o ra nh : l y i m t rod i n môi trong h , hay làm thay i kích th c bình th ng c a m t rod i n (làm l n hay nh l i) . Còn sai h ng ng c ng t ng t , l y i m t hàng rod i n môi , hay làm thay i kích th c c a hàng rod khác so v i h . V y tóm l i trong m ng i n môi tu n hoàn , n u có b t c m t thay i nào mà tác ng n tính i x ng c a tinh th trong m t xy, thì u xu t hi n trong vùng c m m t tr ng thái kh n ng (ó là tr ng thái sai h ng) . Do tính ch t này nên ng i ta nh v ánh sáng b ng chính tr ng thái sai h ng trong vùng c m này.

C u trúc vùng cho th hi n tr ng thái sai h ng trong vùng c m c a tr ng h p tinh th photonic 2D nh sau:



Hình 2.26: tr ng thái sai h ng t n t i trong vùng c m cho phép nh v ánh sá

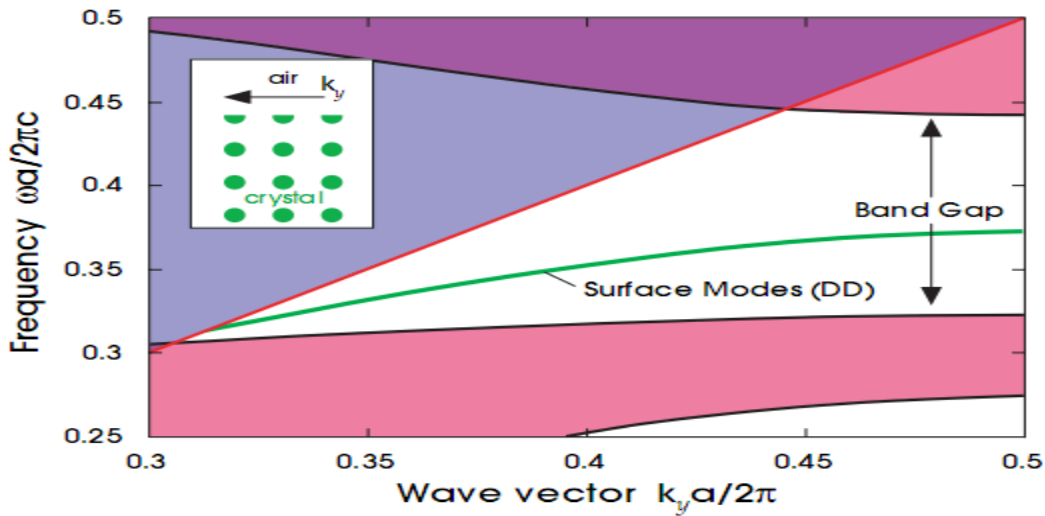
Sai h ng i m nó có kh n ng giam gi ánh sá nh chí u vào tinh th mà có t n s trong vùng c m quang , chính s giam hãm này nó làm cho ánh sáng b khu ch i nhi u l n

trong nó, và làm cho c ng ánh sáng c khu ch i ng ã ra. Ý t ng này có th thi t k ra laser photonic .

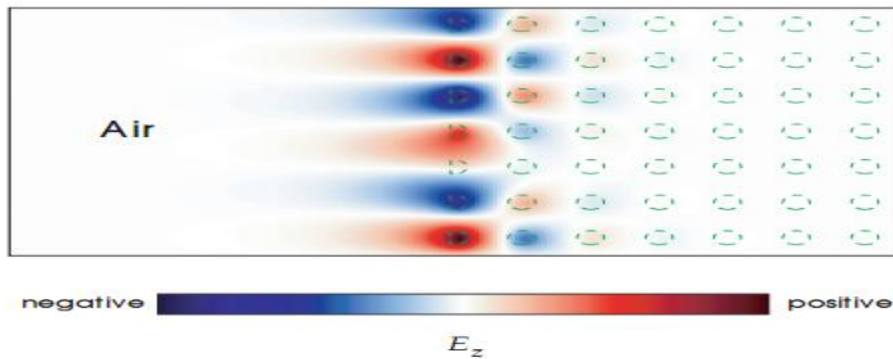
Sai h ng ng nó có kh n ng nh v ánh sáng d c theo tr c c a sai h ng . Sai h ng ki u này c dùng làm ng d n sóng , ng d ng r t cao trong k thu t thông tin quang

2.1.6. nh v ánh sáng b ng tr ng thái b m t

Trong c u trúc tinh th photonic 2D, c ng cho phép ta nh v c ánh sáng b ng tr ng thái b m t c mô t **hình 2.29**, b i vì tr ng thái b m t trong tr ng h p này b suy gi m c 2 vùng i n môi và không khí. Do ó tr ng thái c a nó bu c ph i n m trong vùng c m photonic , i u này c mô t qua hình sau:



Hình 2.27: tr ng thái b m t t n t i trong vùng c m quang



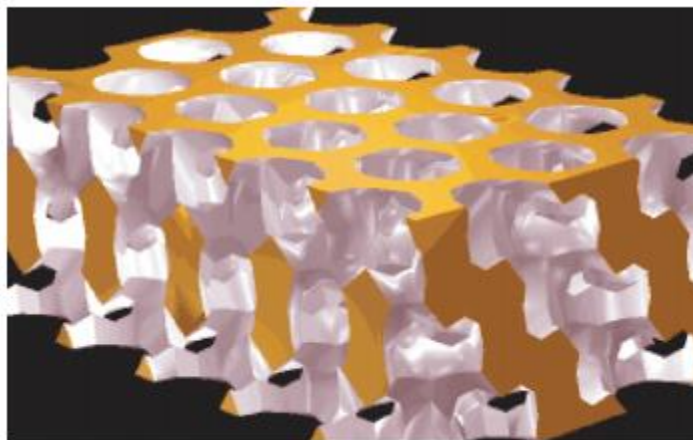
Hình 2.28: i n tr ng d ch chuy n b m t , màu có ngh a là nói n biên i n tr ng E cao hay thấp theo h ng z

Tóm l i c u trúc 2D có 2 cách nh v ánh sáng c b n ó là : nh v b ng sai h ng và nh v b ng b m t ,m i cách nh v có nh ng ng đ ng ri êng c a nó, không th nói r ng cách nh v ánh sáng theo cách nào là u vi t h n, mà tùy vào t ng tr ng h p ng đ ng th c t ta l a ch n cách nh v cho phù h p

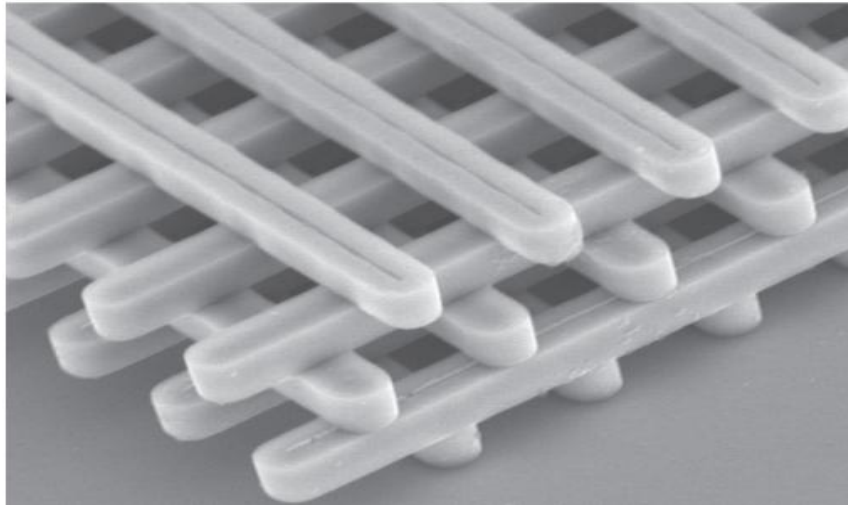
2.3.Tinh th photonic 3D

2.3.1. nh ngh a: tinh th photonic 3D là s s p x p tu n hoàn c a v t li u i n môi theo 3 chi u trong không gian.

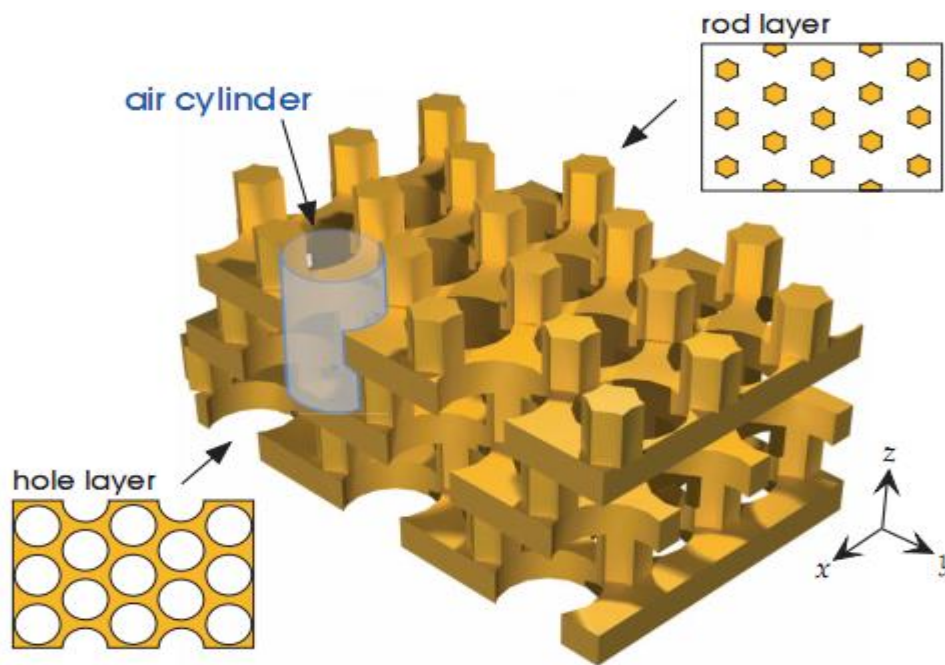
Có nhi u m u thi t k thành công c các nhà khoa h c ngh , có th k n m t s m u nh tiêu bi u nh sau:



Hình 2.29: c u trúc c ngh b i yabnolovite



Hình 2.30: c u trúc d ng woodpile c ng h b i Ho (1994) và 2 nhà khoa h c khác

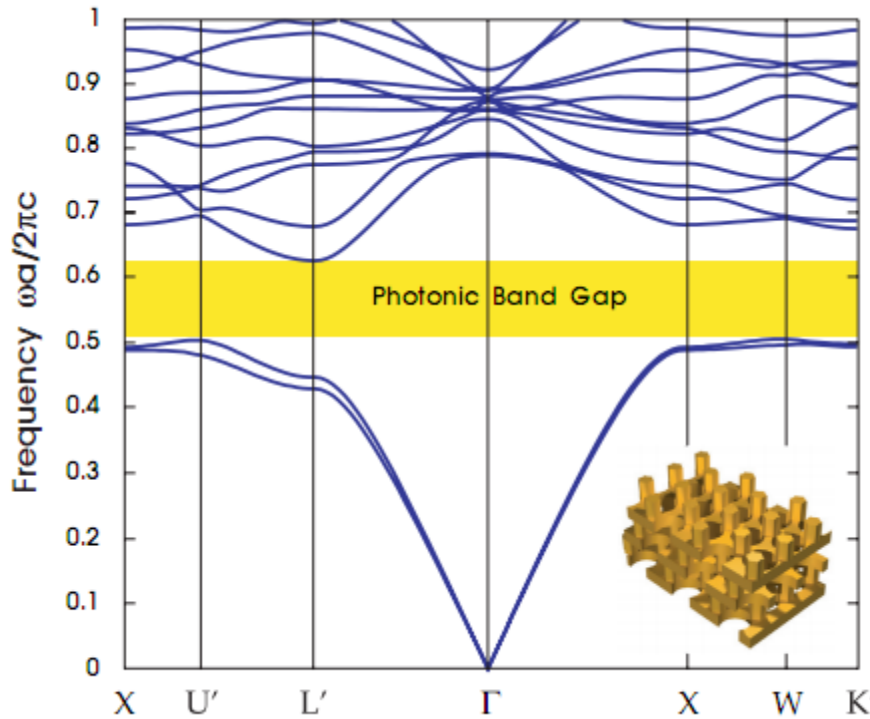


Hình 2.31: c u trúc d ng t h p lo i m ng ó là m ng hole và rod

. C u trúc tinh th photonic 3D c thi t k thành công thì nhi u, nh ng trong ph m vi là m t ti u lu n t t nghi p , nên tôi không i sâu vào chi ti t t ng lo i c th . Do ó tôi ch quan tâm n nh ng c u trúc h t s c tiêu bi u c tr ng và có liên quan m t ít ki n th c

c a ph n 2D n a.M c ích ta c m giác có v ki n th c xuy ên su t và tính liên t c c a m t bài ti u lu n, nên tôi quy t nh ch n c u trúc hình 3 tìm hi u .

2.3.2.Vùng c m photonic hoàn toàn



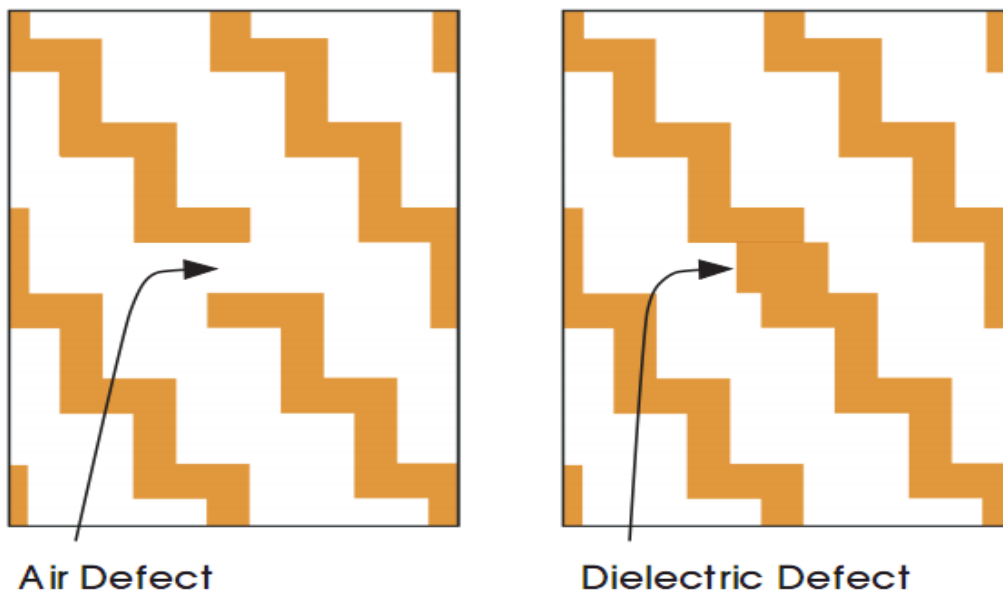
Hình 2.32: c u trúc vùng cho tinh th photonic 3d (c a hình 2.31)

ây là m t c u trúc vùng có vùng c m hoàn toàn , vùng màu vàng chính là vùng c m hoàn toàn , ngu ng c hình thành c ng t ng t nh tr ng h p 2D, nên ta không nh c l i n a Ch có i u ây là vùng c m hoàn toàn , có kh n ng c n tr ánh sáng theo 3 chi u , kh n ng i u khi n ánh sáng t th n 2 D cho m c ích truy n d n ánh sáng .

2.3.3. nh v ánh sáng b ng sai h ng

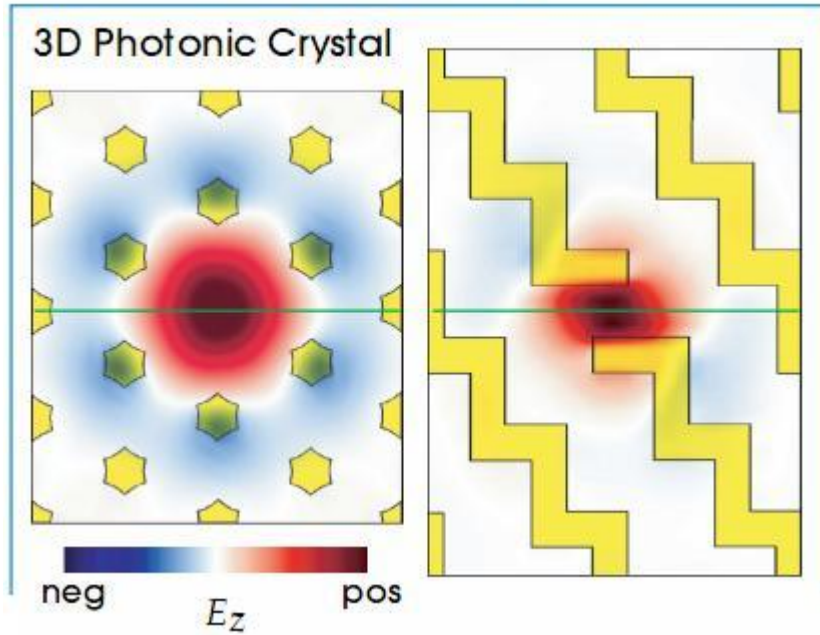
nh v ánh sáng b ng sai h ng trong c u trúc 3D c ng gi ng nh tr ng h p 2D c ng có sai h ng i m ,sai h ng ng ,nh ng ch có i u kh n ng nh v ánh sáng c a c u trúc 3D là theo t t c 3 h ng ây là i m khác bi t c b n và c tr ng c a c u trúc 3D. Chính vì s nh v ánh sáng b ng sai h ng c a c u trúc 3D hoàn toàn t ng t nh tr ng h p tinh th photonic 2D , do ó ta ch c n nói ra mô hình mô t cách nh v ánh sáng là chính ch không nh c l i nguyên t c v t lý nh v ánh sáng n a. Ph n lý thuy t này ã c lý gi i chi ti t ph n tinh th photonic 2D trên.

Mô hình sai h ng i m :



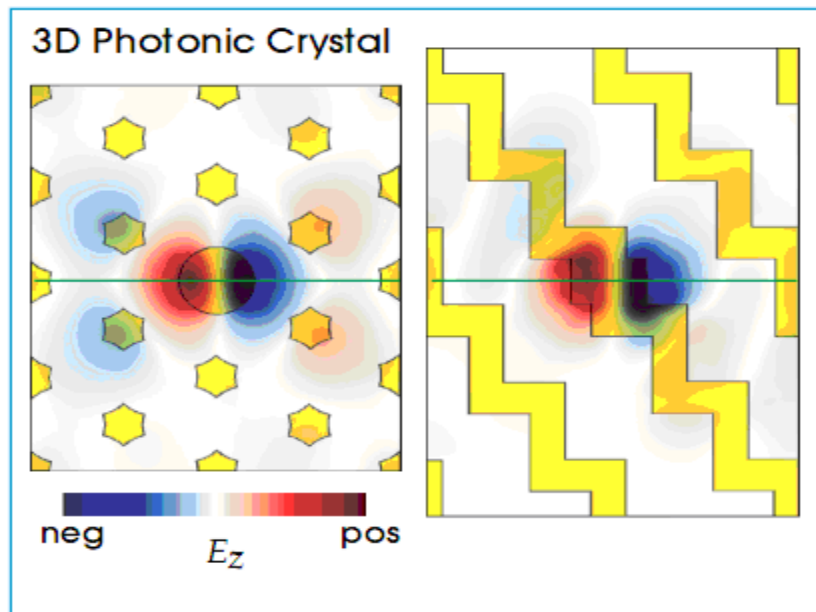
Hình 2.33: mô t sai h ng i m bao g m sai h ng không khí và sai h ng i n môi

Air Defect (missing rod)



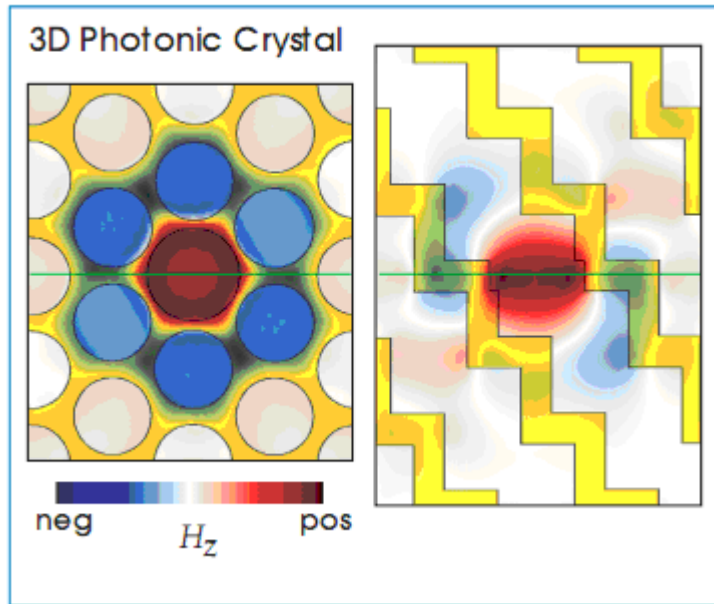
Hình 2.34: sai h ng i m do thi u rod i n môi

Dielectric Defect (larger rod)

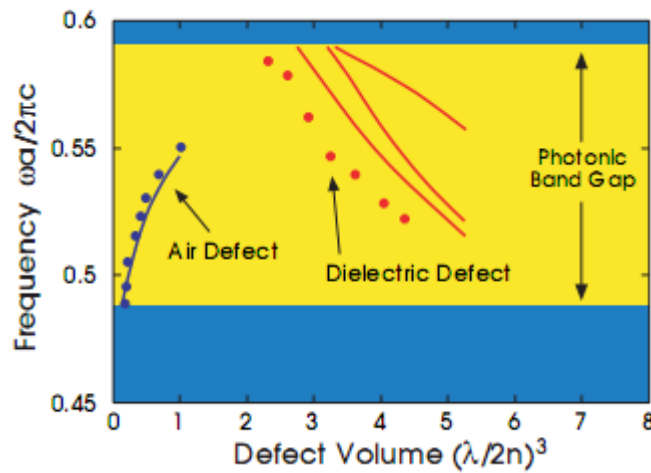


Hình 2.35: sai h ng i m do có rod i n môi kích th c l n h n bình th ng

Air Defect (larger hole)



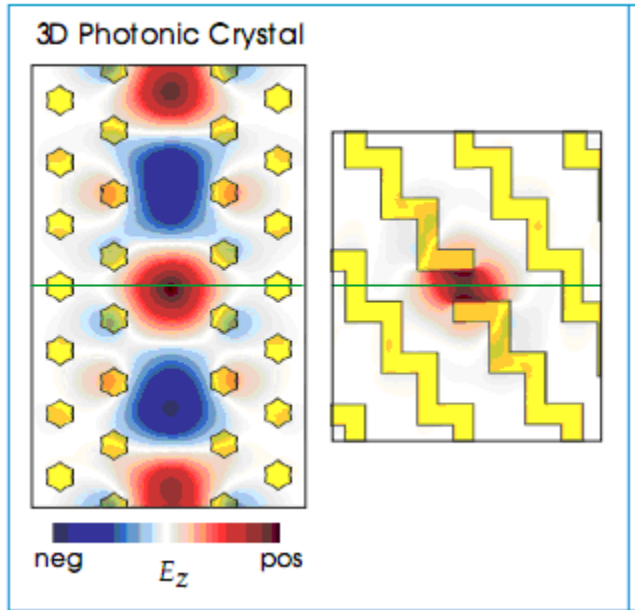
Hình 2.36: sai h ng i m do hole l n h n bình th ng



Hình 2.37: tr ng thái sai h ng i m nh v trong vùng c m

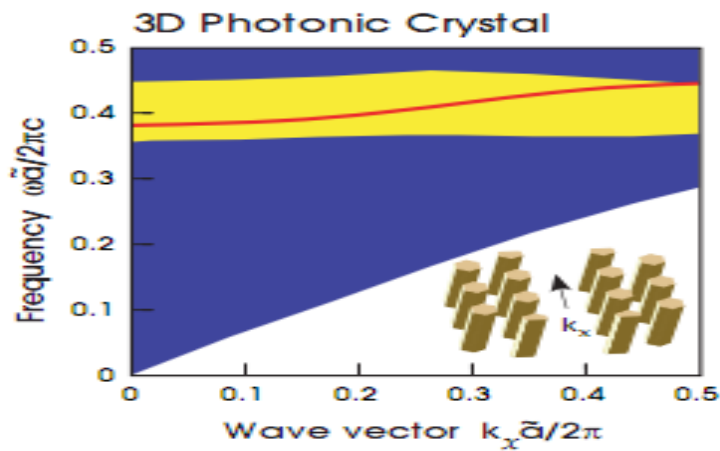
Mô hình Sai h ng ng :

Line Defect (missing row of rods)



Hình 2.38: sai h ng ng d ng thi u rod i n môi

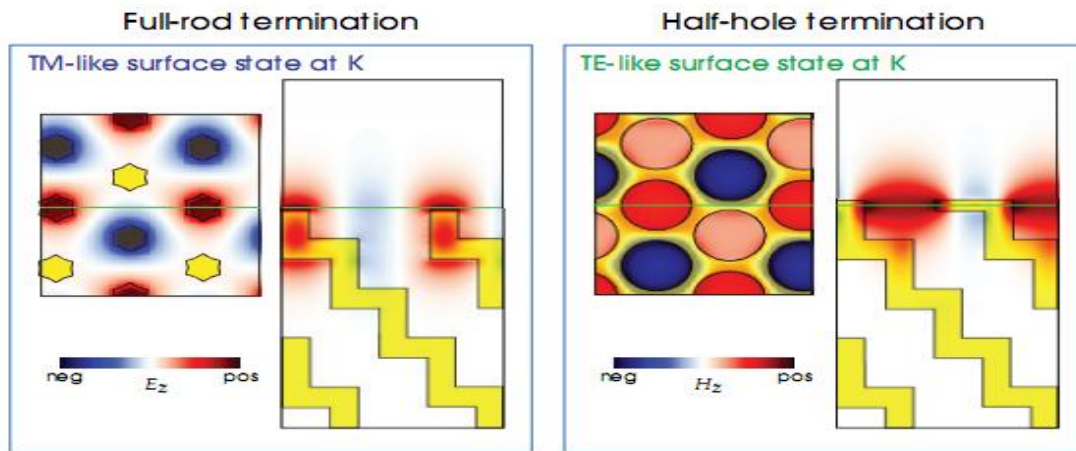
Sai h ng ng này c t o ra do s thi u v ng các rod i n môi theo m t ng th ng mà ta nh s n ánh sang s c nh v d c theo tr c c a ng này.



Hình 2.39: c u trúc vùng mô t tr ng thái sai h ng ng trong c u trúc vùng c m

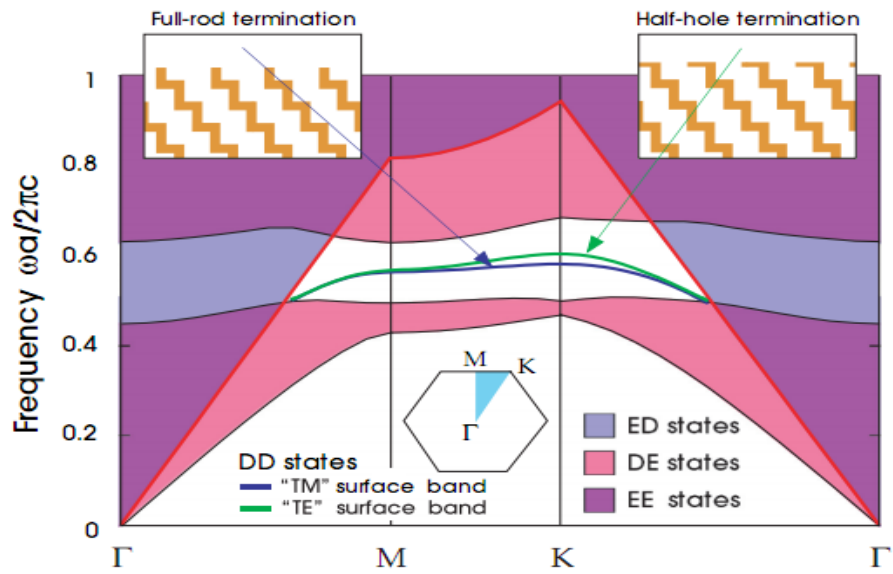
2.3.4. nh v ánh sáng b ng b m t

C ng gi ng nh tr ng h p 1D và 2D thì 3D v n có th cho phép ta nh v ánh sáng b ng tr ng thái b m t, nh ng m i lo i có m i c tr ng riêng và c mô t nh tính nh sau:



Hình 2.40: mô t cách th c nh v ánh sáng b m t c a tinh th photonic 3D

Và tr ng thái b m t ó c nh v trong vùng c m nh v ánh sáng c mô t thông qua c u trúc vùng nh sau:



Hình 2.41 : c u trúc vùng bi u di n tr ng thái b m t c nh v trong vùng c m quang

CH NG 3: GI I THI U M T S PH NG PHÁP CH T O TINH TH PHOTONIC

3.1.Tinh th photonic 1D:

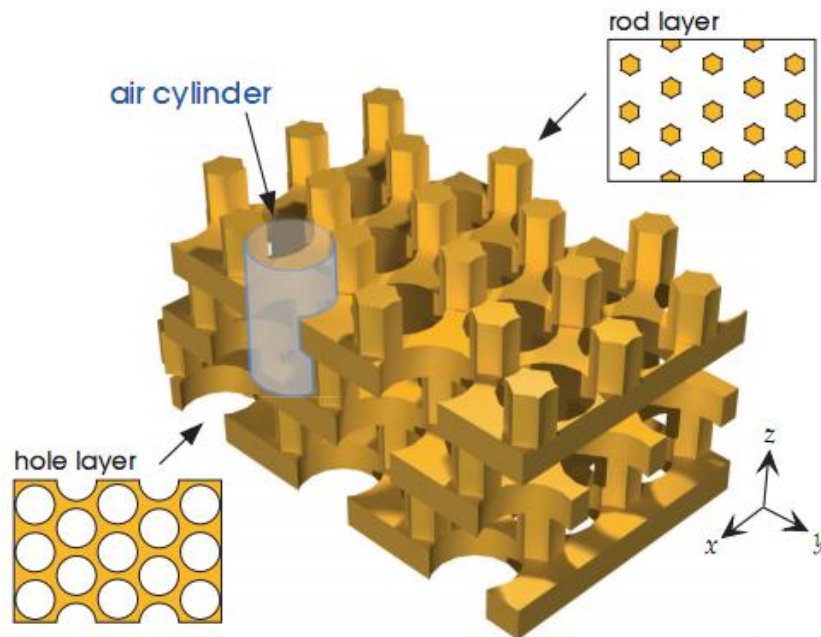
+K thu t l ng ng màng m ng : PVD (physical vapor diposition)
CVD (chemical vapor diposition)

+ B c bay nhi t

3.2.Tinh th photonic 2D:

+ K thu t quang kh c (photolithography)

3.3.Tinh th photonic 3D:



Hình 3.1: c u trúc d ng layer by layer

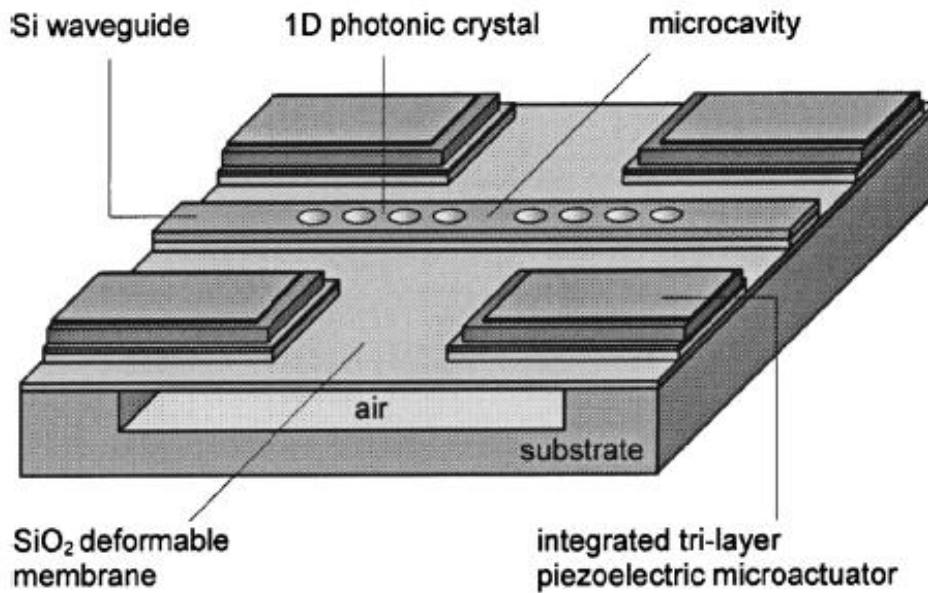
+ Dùng k thu t photolithography (quang kh c)

+ N u m t s d ng khác dùng k thu t rung b ng siêu âm hay b ng nhi t

CH NG 4: NG D NG C A CÁC TINH TH PHOTONIC

4.1. Tinh th photonic 1D

- + ng d n quang h c và c ng h ng micro ng d ng cho m ch quang h c (1D)



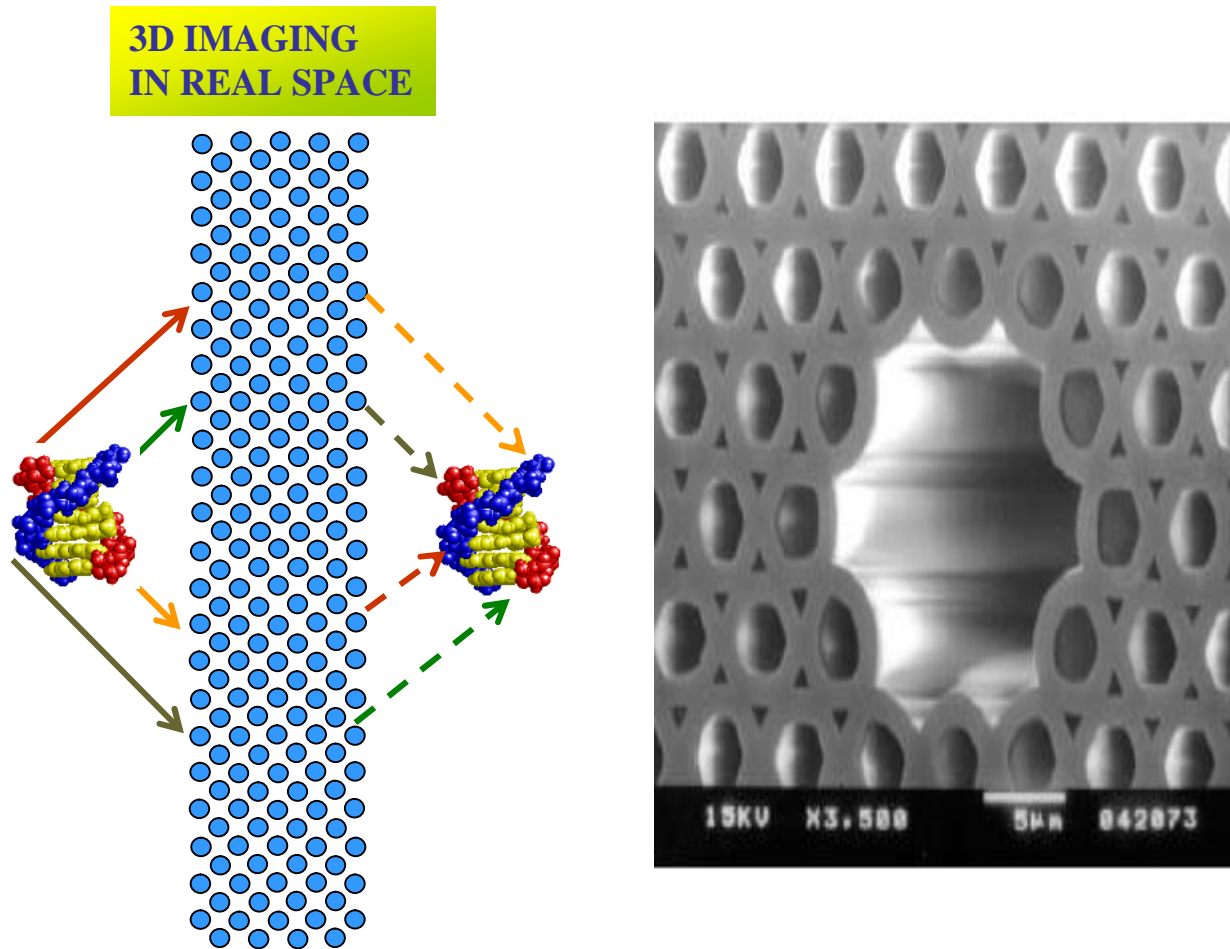
Hình 4.1: m ch tích h p v i ng d n tín hi u quang là b ng ng sóng c a tinh th photonic 1D

4.2. Tinh th photonic 2D

Tinh th photonic 2D dùng :

- + Làm bu ng c ng h ng ch t o laser photonic v i i m Q cao
- + Làm ng d n sóng ch t o m ch d n quang h c thay th cho m ch d n

+ Làm th u kính vùng h p , là môi tr ãng khúc x v i chi t su t âm, không tuân theo nh lu t snall, mà th u kính không c n ph i có cong, phá v ãnguyên t c thông th ãng c a tính ch t khúc x c a th u kính ki u c .



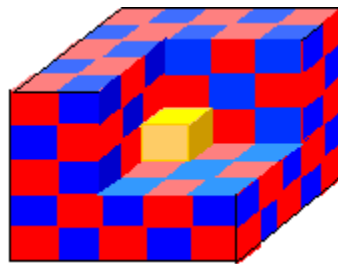
Hình 4.2. a. th u kính photonic

b. s i quang photonic

Vi c truy n tín hi u t c cao, m t m t th p d n ãn thông tin trung th c , ây là h ãng nghiên c u r t thay , s i quang photonic em l i cho ta nhi u h ã h n trong t ãng lai g n.

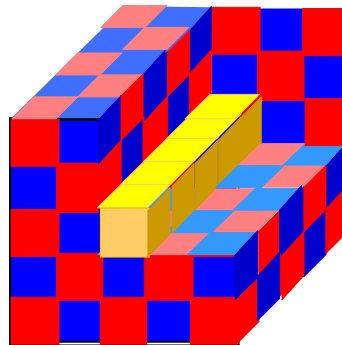
4.2. Tinh th photonic 3D

+ Làm bu ng c ng h ng quang h c 3 chi u , ây là h ng ng d ng y h a h n cho ngành công nghi p laser.



Hình 4.3: bu ng c ng h ng quang h c 3 chi u

+ ng d n quang h c ch t o m ch quang :



Hình 4.4 : ng d n sóng ng c a photonic 3D ng d ng cho m ch quang

K TLU N

Tinh th photonic là m t lo i v t li u quang h c m i, có c u trúc tu n hoàn trong không gian, m i lo i có m t tính ch t c s c riêng .Nh ng chúng u có tính ch t chung , ó là c 3 u có vùng c m photonic, chính vùng này nó ã ng n cách gi a các vùng i n môi và không khí, t o ra c u trúc vùng gián o n , trong ó có nh ng tr ng thái c phép thâm nh p vào tinh th và ló ra c (mode có t n s trong vùng i n môi). Ng c l i c ng có nh ng mode không c phép i qua tinh th và b suy gi m m nh cho n khi biên c a mode ó b ng không (nh ng mode có t n s n m trong v ùng c m). c ng có th mode ó b ph n x hoàn toàn theo m i h ng , m i phân c c (mode có t n s trong v ùng ph n x toàn h ng ng ánh sáng (t n s trong tr ng h p này không n m trong vùng c m photonic) .

Thú v h n h t là, tinh th photonic có kh n ng nh v c ánh sáng và khu ch i c ánh sáng , n u mode trong vùng c m quang t n t i tr ng thái sai h ng . T t c các tính ch t c tr ng trên, ta g i chung tính ch t c a tinh th photonic là có s t ng tác c bi t c a nó v i ánh sáng (ánh sáng có th n m trong v ùng kh i n, và vùng có ng d ng hi n t i làm các c ng quang h c trong vi n thông ó là vùng h ng ngo i g n)

Do s áp ng c các yêu c u kh c khe c a ngành công nghi p vi n thông, vì tính ch t lý thú trên c a tinh th photonic, nên vi c nghiê n c u v lo i v t li u này là c n thi t và c p bách , hi u qu c a nó s em l i nhi u ng d ng h a h n cho cu c s ng c a chúng ta , trong m t t ng lai g n.

.....**H t**.....