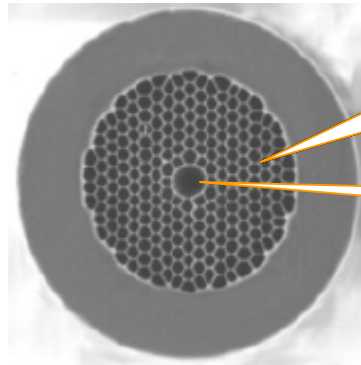


www.mientayvn.com

PHOTONIC CRYSTAL FIBERS (PCF s) S I TINH TH QUANG T

I. GI I THI U

S i tinh th quang t (PCFs) là s i có c u trúc tu n hoàn c làm b ng các ng nh (nh ng mao d n). Nh ng l tr ng c ch a y không khí và nó có hình d ng gi ng m ng l c giác.



*ng nh v i l tr ng
có hình l c giác ch a
không khí*

L khuy t (defect)

Hình 1: M t c t s i tinh th quang t (PCFs)

Ánh sáng có th truy n d c theo s i bên trong nh ng l khuy t c a c u trúc tinh th . M t l khuy t c t o ra là do có s d ch chuy n c a m t hay nhi u tâm c a ng nh . S i tinh th quang t là m t lo i m i c a s i quang h c . K t h p tính ch t c a s i quang và tính ch t c a tinh th quang t s i tinh th quang t có nhi u tính ch t mà nh ng s i quang h c tr c ây không th có c . S i quang h c ho t ng r t t t trong và ngoài l nh v c vi n thông, nh ng có m t s h n ch c b n v t c do c u trúc c a chúng. S i c thi t k theo nguyên t c m t l i: gi i h n v ng kính l o i trong ch truy n n mode. Ph ng th c gi i h n b c sóng, gi i h n vi c l a ch n v t l i u (ví d : V tính ch t nhi t c a l o i thu tinh và l p v ph i gi ng nhau). Vi c thi t k s i tinh th quang t r t linh ng, có m t vài thông s cho vi c th t k nh : b c nh y m ng (chu k m ng), hình d ng l h ng không khí và ng kính c a nó, chi t su t c a thu tinh và lo i m ng. Linh ho t trong vi c thi t k cho phép t o ra s i n mode có d i b c sóng liên t c trong toàn b gi i b c sóng quang h c, và không t n t i gi i b c sóng gi i h n. Ngoài ra có hai k thu t truy n d n trong s i tinh th quang t : m t là k thu t truy n d n index (t ng t nh trong s i quang truy n th ng), hai là k thu t truy n d n dùng vùng c m quang t .

B ng cách s p x p khéo léo c u trúc ta có th có th thi t k nh ng s i có tính ch t truy n d n theo ý mu n. S i tinh th quang t c thi t k và ch t o có th không tán s c, tán s c th p ho c tán s c b t th ng (không theo quy t c) gi i b c sóng nhìn th y. S tán s c c ng có th c tr i r ng trên m t d i r tr ng. Vi c k t h p nh ng tán s c b t th ng v i vùng tr ng mode nh c chú ý trong s i không

tuy n tính. M t khác s i n mode có lõi không khí, l n ho c ch t r n c ng có th t o ra.

Ý t ng v s i tinh th quang t u tiên c a ra b i Yeh và các c ng s [1] n m 1978. H ã b c lõi c a s i b ng l i Bragg (Bragg grating), nó t ng t nh tinh th quang t m t chi u. S i tinh th quang t c ch t o b ng tinh th quang t v i lõi không khí c phát minh b i P. Russell n m 1992 và s i tinh th quang t u tiên c báo cáo trong h i ngh v s i quang (OFC) n m 1996. B ng d i trình bày tóm t t quá trình phát tri n c a s i tinh th quang t .

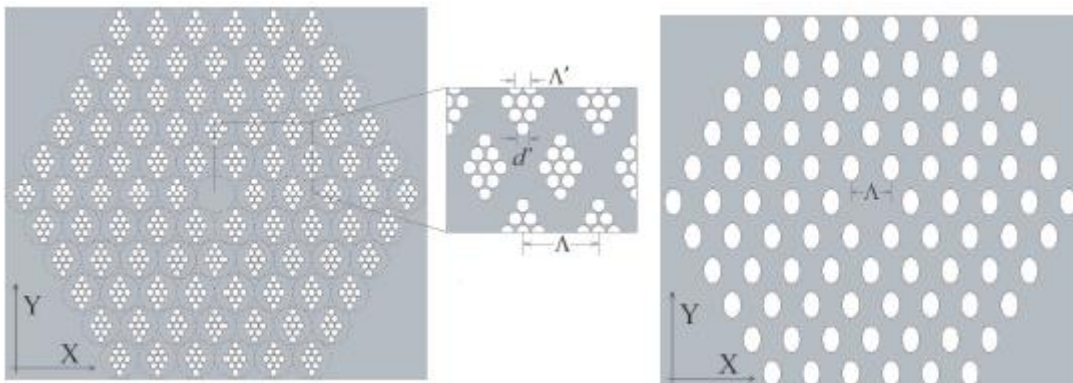
B ng tóm t t quá trình phát tri n c a s i tinh th quang t

- 1978 Ý t ng v s i Bragg.
- 1992 Ý t ng v s i tinh th quang t v i lõi không khí.
- 1996 Ch t o s i n mode b c b ng quang t (photonic).
- 1997 Ra i s i tinh th n mode liên t c.
- 1999 S i tinh th quang t v i quang t có d i vùng c m và lõi không khí.
- 2000 S i tinh th quang t khúc x kép m c cao.
- 2000 Th h s i tinh th siêu liên t c.
- 2001 Ch t o thành công s i Bragg.
- 2001 S i tinh th las v i hai l p s n ph .
- 2002 S i tinh th v i s tán s c siêu ph ng.
- 2003 S i Bragg v i silica và lõi không khí.

2. K thu t truy n d n trong s i tinh th quang t

N u l khu y t c a c u trúc th c s do d ch chuy n tâm c a các ng nh thì s truy n d n sóng i n t trong s i tinh th quang t có th c chú ý t i nh s bi n i c a t ng nh ng ph n x n i. S bi n i là do h th ng c a nh ng ng nh ch a không khí làm dò r nh ng mode cao h n vì v y ch có m t mode c b n c truy n i.

ây là mode có ng kính nh nh t, g n kích th c c a l khu y t, ..., h ng s m ng c a c u trúc tu n hoàn [3,4]. Theo Ref [2] m t s i là n mode n u d/ < 0.4 trong ó d là ng kính c a ng không khí và là h ng s m ng. S i tinh th quang t d n ánh sáng l n u c a ra n m 1996 v i s i lõi r n (*solid core guidance*).



Hình 2: M t c t s i tinh th quang t

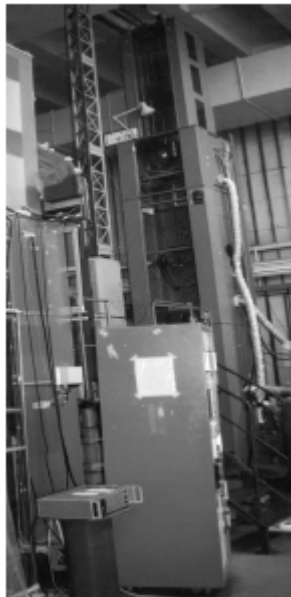
Trong m ng c a nh ng s i nh ch a không khí, tâm c a nó c thay b ng m t thanh [2,3]. N u tâm c a l khuy t c chèn b ng tâm c a s i nh ch a không khí, mà có ng kính khác so v i nh ng s i nh khác (th ng l n h n). Khi ó chúng ta có c d i vùng c m quang t (PBG). S nh h ng ánh sáng c xem nh cách d n electron trong v t lý ch t r n v i c u trúc gi i n ng l ng. N m 1997 ánh sáng c d n trong m t l khuy t ch a không khí c a ra (*hollow core PBG guidance*). M t vài tâm c a s i nh c i t c u trúc c a m ng l c giác và b l i m t l r ng ch a y không khí [5].

Nh ng lõi không khí phân b tu n hoàn có th có c u trúc nh m t tinh th qu ang t hai chi u có h ng s m ng t ng ng v i b c sóng ánh sáng . Trong c u trúc tinh th quang t hai chi u t n t i d i vùng c m có th ng n c n ánh sáng truy n trong m t d i t n s xác nh nào ó. N u c u trúc tu n hoàn b l i v i m t l khuy t (th i u lõi ch a không khí h c lõi ch a không khí r ng). M t vùng c bi t v i nh ng c i m quang h c khác nhau c t o ra t tinh th quang t . Vùng l khuy t có th t o ra nh ng mode v i t n s n m trong d i vùng c m c a quang t , nó có th ng n c n nh ng sóng này xuyên sâu vào trong tinh th quang t . Nh ng mode gi i h n ph n l n b i các l khuy t và d n chúng d c theo s i. Khi gi i vùng c m c s d ng giam hãm ánh sáng trong lõi, òi h i m i n l khuy t ph i có chi t su t l n h n m i n xung quanh.

3. CÁC PH NG PHÁP CH T O

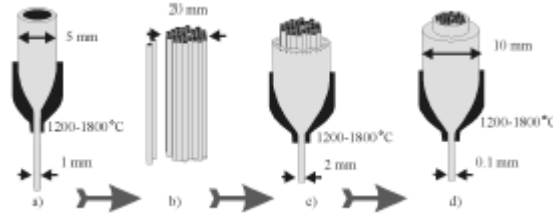
B t k lo i thu tinh nào và lo i c u trúc nào, ph ng pháp ch t o s i tinh th c b n u là a l p m ng. Tuy nhiên c ng có nh ng báo cáo v k thu t ch t o s i tinh th quang t b ng quá trình ùn, nó c s d ng ch y u i v i s i tinh th quang t t o t thu tinh m m. Trong ph ng pháp này, thu tinh c n u cho nóng ch y sau ó ép vào khuôn kéo s i có nh ng m u c a các l c thi t k s n [6].

Ph ng pháp a l p m ng c bi t n nh k thu t c a c u trúc d n nh (s i d t, d n nh ...v.v) [7]. Hình 3.



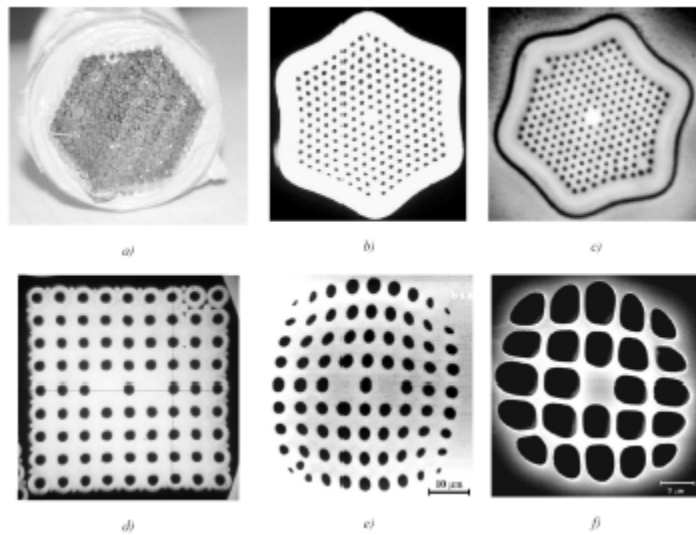
Hình 3 S i d i d ng tháp cho PCF ch t o t i Vi n i n t Công ngh v t li u, Warsaw, Ba Lan

V i ph ng pháp này s i tinh th quang t c ch t o qua m t s b c th hi n trên hình 4



Hình 4 Quá trình ch t o s i tinh th quang t : a) T o các ng nh riêng l , b) T o d ng s i c) Hình thành s i trung gian, d) Hình thành s i

Trong b c u tiên nh ng ng nh riêng r c t o ra . S i tinh th quang t có th s d ng nh ng ng nh v i ng kính và b dày thành ng khác nhau (Nh ng nh h ng này ph thu c vào giá tr d/ trong s i), Hình d ng m t c t khác nhau (Tròn, l c giác, vuông) và lo i thu tinh khác nhau (silica, silicate, h p ch t v i nhi u lo i oxit,...v.v) hình 5.



Hình 5 Ch t o s i tinh th quang t : ti n ch t o, b c trung gian và b c hình thành s i (Vi n i n t Công ngh v t li u (IEMT)): a) u tiên PCF c hình thành v i l $\varnothing = 1\text{mm}$ m ng l c giác; b) Ti p theo v i l i $\varnothing = 250\ \mu\text{m}$ m ng l c giác; c) S i PCF ng kính s i $\varnothing = 120\ \mu\text{m}$ m ng l c giác, ng kính l tr ng không khí $d = 3\ \mu\text{m}$, $d/\text{pitch} = 0.5$; d) B c trung gian hai l i PCF v i m ng hình vuông; e) s i v i hai l i m ng hình vuông, ng kính s i $250\ \mu\text{m}$, ng kính l tr ng không khí $d = 2.5\ \mu\text{m}$, $d/\text{pitch} = 0.5$; f) s i a mode v i m ng hình vuông, bán kính s i $160\ \mu\text{m}$, ng kính l tr ng không khí $3\ \mu\text{m}$.

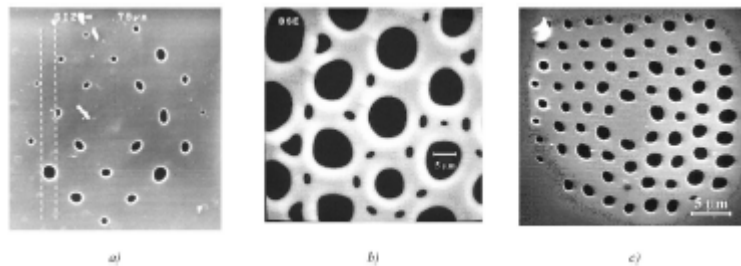
Ti p theo nh ng ng nh riêng r c s t t li t o thành kh i nhi u ng nh có tính i x ng. L khuy t bên trong nhân ánh sáng là thanh thu tinh ho c trong tr ng h p s i v i d i vùng c m quang t , l khuy t bên trong nhân sáng là m t l có

ng kính thích h p. Nh ng thanh khay t này c s p t trong c u trúc c a s i. M t c u trúc c nh s n sau ó nung n nóng ch y và kéo s i theo hình tháp v i kích th c c milimét b c này g i là b c t o hình trung gian. ây là m t thanh thu tinh t ng h p nhi t v i nh ng l t i v trí nh ng ng nh và chỉ m y kho ng không gian gi a chúng có th t o c m t s i có ng kính và nh ng thông s v c u trúc thích h p (kho ng cách gi a các l , ng kính l , ng kính lõi) b c t o hình trung gian c b xung thêm nh ng thanh thu tinh. T ng t nh b c t o hình trung gian khi nung ch y và kéo s i theo đ ng hình tháp ta c s i hoàn ch nh v i kích th c c micromét. Cu i cùng nh ng l p polymer c s đ ng trong quá trình t o s i PCF t o l p b c b o v s i kh i các tác ng c h c.

Trong su t quá trình th c nghi m ng i ta nh n th y r ng m t c u trúc m ng tính i x ng b nh h ng b i hình đ ng c a t i đ i n c a nh ng l tr ng. Khi b dày c a thành l là nh , chúng có khuynh h ng nh n hình đ ng i x ng c a m ng. i m ng l c giác, nó là l c giác trong khi m ng hình vuông nó là hình vuông. ây là i u hi n nhiên khi m ng thu tinh có tính r o r t cao (nh i t th p) và c u trúc v i t s $d/$ cao (>0.6)(hình 5f). Hi n t ng t ng t c th hi n rõ trong c u trúc a s i m ng (tính đ n nh).

V i c ch t o s i quang t v i nh ng tính ch t truy n qua là m t v n r t khó kh n. M t trong s ó là i u ch nh các thông s s i có c u trúc c micromét nh nh i t và t l kéo dẫn. Nh ng l khay t b nh h ng b i nh ng tính ch t c a c u trúc làm sai l ch so v i nh ng giá tr tính c theo lý thuy t.

V n l n c a v i c ch t o là s xu t hi n nh ng méo mó nh ng l khí, s xu t hi n thêm nh ng l , và nh ng nh h ng làm m t tính i x ng (hình 6) [8]. S xu t hi n nh ng l v i ng kính khác nhau và có hình đ nh b t th ng có th quan sát r t rõ trong m ng hình vuông. Thông th ng nh i t trong s i không u và có m t phân ph i xuyên tâm. Nh ta th y phía ngoài c a l có b i n đ ng l n h n và có ng kính nh h n so v i thi t k , vì v y nên thêm hai n ba vòng ng nh so v i thi t k c u trúc ban u. Nh ng ng nh c thêm vào không nh h ng t i mode đ n trong l khay t. S xu t hi n thêm nh ng l tr ng th ng do vùng gi a các ng nh không khít nhau trong quá trình làm m ng. S nh h ng t i s i x ng c a c u trúc c quan sát c b i t trong m ng hình vuông, t i ó nh ng l tr ng b i ch (tr thành i x ng tam giác), c u trúc x p theo k u xiên ho c đ ong c a nh ng l tr ng s b nh p nhô.



Hình 6 L khay t trong ch t o PCF: (a) C u trúc vuông 5x5 v i bán kính các l tr ng khác nhau, (b) C u trúc l c giác v i nh ng khe gi a nh ng ng nh không u nhau, (c) C u trúc vuông 9x9 v i nh ng l h ng b thay th .

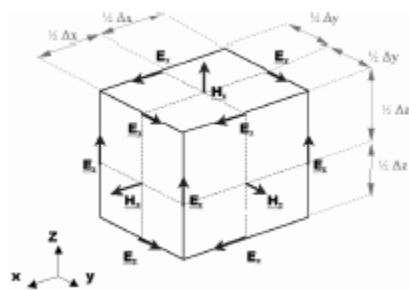
tránh nh ng sai h ng ó òi h i ph i i u khi n chính xác t t c quá trình làm m ng (ng nh , t o hình trung gian). Nó th c s c n thi t i u ch nh và i u khi n chính xác nhi t c a quá trình làm m ng, phân ph i nhi t trong lò, i u ch nh s nh h ng c a tâm, v n t c a vào và kéo ra. Nh ng thông s này cho th y ng kính c a s i, phân ph i nhi t , tỉ t đi n và th i gian t nóng.

H u h t nh ng báo cáo v PCFs u mô t s i c làm b ng thu tinh silica . Silica có th t o s i r t t và có th ng đ ng cho h u h t các ng đ ng trong d i b c sóng 200 – 2500 nm, nh ng n u s đ ng nh ng v t li u khác có th làm t ng nh ng thông s đ c bi t c a s i và có vùng ph truy n v t ra ngoài vùng này . Vì v y ngày càng có nhi u chú ý t i t o ra nh ng s i c làm t nhi u thành ph n thu tinh nh : tellurite, fluoride và chalcogenide. S i làm b ng a thành ph n thu tinh có m t vài tính ch t mà s i làm t silica không có c nh có chi t xu t cao , truy n qua b c sóng h ng ngo i t t, tính phi tuy n cao, n ng l ng photon t ng i m c th p. M t vài s i c làm t silicate [8], chalcogenite [9], và thu tinh tellurite [10] ã c báo cáo. Thu tinh silica pha tr n và do s làm cho tính ch t quang h c và tính ch t c h c c a nó c m r ng h n. S suy gi m l n trong thu tinh c a s i lo i này th ng đ n n m t b t l i l n. Tuy nhiên tính ch t này là không quan tr ng khi s đ ng s i trong d i b c sóng ng n ví d nh trong các c m bi n .

4.CÁC PH NG PHÁP MODELING

Thông th ng s đ ng ph ng pháp cho modeling c a s i quang h c không th thành công trong PCF modeling. Nh ng s i này có h s ph n x cao và có c u trúc tu n hoàn v i h ng s m ng c b c sóng ánh sáng . B i v y nh ng ph ng pháp s đ ng modeling trong tinh th quang t t ng t trong sóng i n t .

Ph ng pháp gi i h n mi n th i gian khác nhau c s đ ng r ng rãi tính toán giá tr suy gi m tr ng i n t trong truy n t thông tin [11]. Sóng truy n trong c u trúc PCF c tìm ra b ng cách tích phân tr c ti p trong mi n th i gian c a ph ng trình Maxwell's đ i đ ng tách bi t. Không gian và th i gian c l p v i nhau trong l i thông th ng. Vi c tính toán tr ng i n và t c tính trên m t ô Yee (Hình 7)



Hình 7 mô t ô Yee cho t t c thành ph n tr ng i n và t trong kh i hình h p . M i thành ph n c a tr ng i n t c xác nh ch trong m t m t ph ng c a ô n v Yee

Ngoài ra v i i u ki n biên (h p th ho c tu n hoàn), Thông th ng i u ki n biên c a l p phù h p hoàn toàn n tr c (UPML) c s đ ng cho mô hình PCF. Ph ng

pháp cho phép t c truy n qua và h s ph n x , truy n tr ng n ng l ng (Poynting vector). Nó cho phép th y c tr ng thái phân b tr ng b n v ng c ng nh tr ng phân b t m th i.

Ph ng pháp FDTD là ph bi n, linh ho t, suy luân n gi n. Tr ng i l n nh t c a ph ng pháp này là t n th gian và c n nh nhi u thu t toán ph c t p. Khi PCF có c u trúc ba chi u v i chi t su t phân b theo hai chi u. Ch nh ng kho ng ng n c a s i có th c mô t b ng ph ng pháp này. C ng có th thành công n u có mô hình làm thon nh , ghép c p, và ghép hai lõi trong s i tinh th quang t . Mô ph ng s l ng l n có th th c hi n c b ng m t s máy tính có k t n i vì ph ng pháp FDTD có th đ dàng th c hi n các thu t toán song song .

T ng t s phân hoá có th c s đ ng trong tr ng ph ng pháp lan truy n chùm (tia) (BPM)[12] ho c ph ng pháp sai phân h u h n (FD). Zhu và các c ng s ã s đ ng s phân r i Yee trong vi c gi i quy t mô hình vector y b ng ph ng pháp sai phân h u h n[13] bi u di n sóng ngang i n t đ i đ ng r i r c . B ng vi c áp d ng ph ng pháp sai phân h u h n, ph ng trình vector sóng y tr thành bài toán tr riêng c a i s .

Ph ng pháp vector sóng ph ng m r ng (plane wave expansion (PWE)) cho ta m t cách ti p c n r t hi u qu và g n v i mô hình PCFs [14,15]. Ph ng pháp này cho phép gi i ph ng trình vector sóng y cho tr ng t . Trong mô hình này tr ng tu n hoàn c ng nh v trí ph thu c vào h ng s i n môi s đ ng khai tri n Fourier c a hàm tu n hoàn c xác nh b i vector m ng t ng h .

T ph ng trình vector sóng y i v i tr ng i n t H_k :

$$\nabla \times \left[\frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times H_k \right] = -\frac{\omega^2}{c^2} H_k, \quad (1)$$

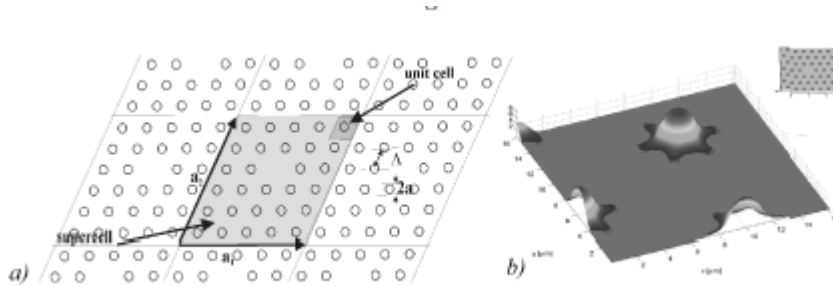
Trong ó k là vector sóng và $\varepsilon(\mathbf{r})$ là h ng s i n môi rong c u trúc. M t mô hình c u trúc PCF c mô t nh m t m ng tu n hoàn, ch a c u trúc tinh th và nh ng l khuy t. Do tính tu n hoàn chúng ta có th bi u di n H_k nh t ng c a nh ng sóng ph ng c s theo lý thuy t Bloch.

$$H_k = \sum_G h_{k-G} \exp(-i(k-G) \cdot \mathbf{r}), \quad (2)$$

Trong ó G là vector m ng trong không gian i x ng. H ng s i n môi $\varepsilon(\mathbf{r})$ c khai tri n theo Fourier $\frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} = \sum_G V_G \exp(iG \cdot \mathbf{r})$ trong ó $V_G = \frac{1}{A_u} \int \frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \exp(-iG \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}$ và A_u là di n tích m t ô n v. Th (2) và (3) vào (1) ta có bài toán tr riêng. Gi i bài toán tr giêng ta có th tìm c t t c các t n s có th c a mode.

Ph ng pháp PWE cho phép tính c t n s c t ng i và gi i vùng c m c a quang t trong nh ng c u trúc iên môi tu n hoàn (hình 8). Nó có th c ng đ ng v i b t k lo i c u trúc tinh th nào, bao g m c nh ng tinh th b t th ng. i u này cho phép xác nh c u trúc đ i c a quang t trong c ch đ n c a PBG, c ng nh nh ng mode trong chi t su t c a c ch đ n sóng. ây là ph ng pháp t ng i nhanh, chính xác, tuy nhiên nó có m t s nh c i m nh không th s đ ng tính toán c u trúc c a nh ng v t li u có tính ch t ho t hoá (h p th và khu ch i). Ngoài

ra, nó không mang l i b t k thông tin v t n th t do tán x , truy n t i v à reffection c a ánh sáng t i trong PCF.



Hình 8. Mô t PWE: a) C u trúc PCF c m r ng nh m ng tu n hoàn ch a c u trúc tinh th và nh ng l khuy t; b) M t ví d (c a) nh ng k t qu mô ph ng v i PWE. Phân b c ng trong m ng tu n hoàn (periodic supercells)

Ph ng pháp nh v hàm c b n (localized basis functions (LBF)) là c s cho vi c gi i tr c t i p các ph ng trình Maxwell , t ng t nh ph ng pháp PWE [16]. Gi s r ng nh ng mode d n c a PCF c xác nh g n xung quanh l khuy t tinh th và nh ng mode có th c mô t b i hàm Hermite – Gaussian c nh v trong biên vùng c a lõi. Nó cho phép gi m áng k s l ng các hàm c s và nh ng phép tính ph c t p. trong ph ng pháp LBF, gi s m t thành ph n trung bình b t b n t nh t i n doc tr c z và ph ng trình Maxwell's c vi t nh ph ng trình i v i sóng i n t ngang.

$$(\nabla_{\perp}^2 + k^2 \epsilon) h_{\perp} + (\nabla_{\perp} \ln(\epsilon)) \times (\nabla_{\perp} + h_{\perp}) = \beta^2 h_{\perp}, \quad (3)$$

Trong ó ∇_{\perp} là gradient trong sóng ngang ph ng và h_{\perp} là các thành ph n ngang c a t tr ng $H_i; i = x; y$:
where $r?$ is the gradient in the transversal plane and $h?$ are transversal components of the magnetic field $H_i; i = x; y$:

$$H_i = h_i \exp(i(\beta z - ckt)), \quad (4)$$

Hàm c s c xây d ng nh t p h p c a hàm Hermite – Gaussian.

$$\phi_{mn} = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2A^2}\right) H_m\left(\frac{x}{A}\right) H_n\left(\frac{y}{A}\right), \quad (5)$$

Trong ó H_m là a th c Hermite c a thành ph n m. hàm ϕ_{mn} là tr c giao và ta ra m t h c s y . Ph ng trình sóng (3) có th c bi u di n theo d ng i s sau:

$$\sum_{kl} L_{k,l}^{m,n} h_{\perp}^{k,l} = \beta^2 h_{\perp}^{m,n}, \quad (6)$$

Trong ó $L_{k,l}^{m,n}$ là ma tr n h s c a nh ng toán t phía tay trái trong ph ng trình (3) và $h_{\perp}^{k,l}$ là t tr ng ngang trong c s Hermite-Gaussian. Gi i bài toán tr riêng

có thể tìm c h ng s truy n β và phân b tr ng. Ph ng pháp này ã c phát tri n cho mô hình PCF v i nh ng l trong và m ng l c giác.

Ph ng pháp supercell lattice là k t h p c a hai ph ng pháp PWE và LBF [17]. Tr ng i n c tác riêng b ng cách s d ng hàm Hermite-Gaussian. PCF c tách thành hai c u trúc i n môi tu n hoàn o c a tinh th quang t y . Thành ph n u tiên c tr ng cho tinh th quang t c a l p b c. Trong khi ó thành ph n th hai c tr ng cho tâm c a các l khuy t c a PCF c hai c u trúc tinh th quang t o c khai tri n b i hàm cosine. T ph ng trình sóng và i u ki n tr c giao c a hàm Hermite-Gaussian nh ng tính ch t truy n sóng c a s i tinh th quang t , nh s phân b tr ng c a mode, m i n ph n x , tính ch t tán x c xác nh.

Ph ng pháp ph n t h u h n c a h vector y (finite element method (FEM)) ã c ng d ng thành công trong mô hình PCF [18]. Nó cho phép tính toán c hai tính ch t tán x và giam hãm c a PBG và c u trúc lõi r n. Cho tr c m t t n s ph ng pháp s cung c p cho chúng ta m t h ng s ph c $\gamma(\omega) = \beta(\omega) + i\alpha(\omega)$ trong ó β là h ng s truy n tiêu chu n c a sóng ph ng d c tr c c a s i.

Có nhi u ph ng pháp c b n c phát tri n cho mô hình c a nh ng c u trúc nhi u x và tinh th quang t ã s d ng thành công chi t su t và gi i vùng c m quang t trong s i tinh th quang t truy n d n [19]. Trong ph ng pháp này tr ng c vi t d i d ng nh ng hàm i u hoà hình tr xung quanh tâm c a m i l khí. Ph ng pháp u i m là nhanh và chính xác. Khi l p b c tâm c gi i h n, nh ng tính toán có thể c th c hi n b ng cách này. Trong nh ng ph ng pháp c k ra trên có m t vài ph ng pháp khác c ng c s d ng cho mode PCF: ph ng pháp ma tr n nhi u x , ph ng pháp ma tr n chuy n i...v.v[20]. Tuy nhiên ph ng pháp c s d ng nhi u nh t v n là PWE, FD, và ph ng pháp a c c xác nh nh ng tính ch t c a mô hình s i tinh th quang t .

5. TÍNH CH T C A S I TINH TH QUANG T N MODE

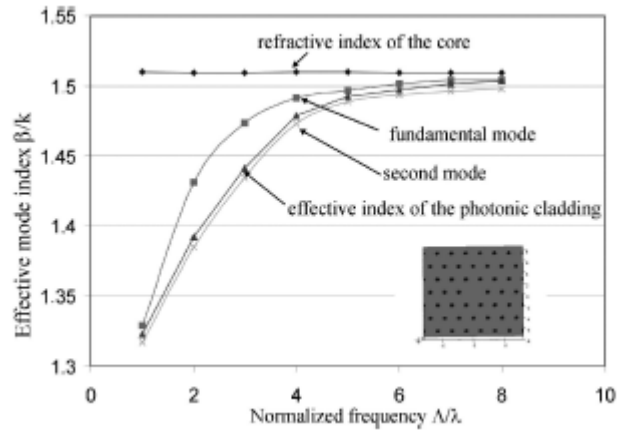
5.1 S i n mode liên t c

PCF có thể c thi t k sao cho chúng là n mode trong m t gi i ph nhìn th y và h ng ngo i r ng. Nh ng s i có s thay i chi t su t (step index fibers (SIFs)) tr c ây luôn luôn có m t t n s gi i h n trên khi n cho nó luôn su t phát t a mode. xác nh s mode d n trong SIF ta s d ng m t t n s phi tuy n V . V c nh xác nh là:

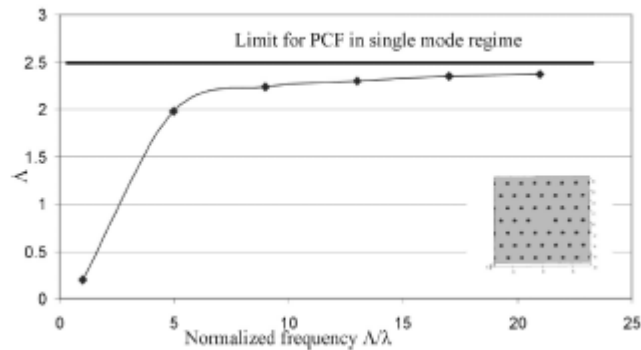
$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2} \quad (7)$$

Trong ó ρ là bán kính lõi, n_{core} và n_{cladding} là chi t su t c a lõi và l n b c

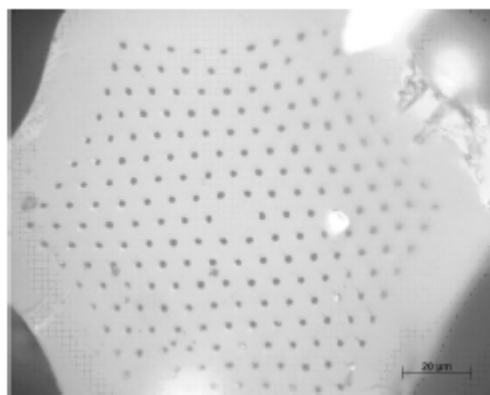
Trong tr ng h p s i chu n, chi t su t l p b c h u nh không ph thu c vào sóng dài và V t ng khi sóng dài gi m. K t qu là trong ho t ng a mode gi i h n t n s chu n hoá l n h n 2.405.



Hình 9. Nh ng tính ch t c a PCF n mode liên t c làm t thu tinh a thành ph n. i v i b t k b c sóng nào giá tr mode chỉ t su t trong các mode , luôn l n h n giá tr tiêu chu n và th ph n chỉ t su t l p b c.



Hình 10. T n s chu n hoá i v i PCF m ng l c giác, h s l p y 0.20. PCF ch d n nh ng mode tiêu chu n trong vùng kh ki n và g n h ng ngo i.



Hình 11. M t c u trúc n mode PCF i n hình. S i c ch t o b ng ph ng pháp IEMT. PCF n mode liên t c có h s l p y nh h n 0.2

i v i PCF giá tr chỉ t su t c a l p b c quang t ph thu c r t l n vào b c sóng, trong khi ó, nh ng s i truy n th ng chỉ t su t h u nh là h ng s không i (hình 9).

T n s c chu n hoá t i m t giá tr (cho) nh ng b c sóng ng n. Do v y d n t i giá tr c a t n s chu n hoá c nh ngh a b i c u trúc c a l p b c , h s l p y (t l c a ng kính d l tr ng và chu k m ng). thi t k chính xác ph i gi V th p h n giá tr t n s chu n hoá ng cho b t k d i b c sóng nào (hình 10).

PCF v i y các i u ki n này thì c g là n mode liên t c . M t t n s chu n hoá ng ng cho PCF c tính là 2.5 [21,22]. M t c u trúc n mode liên t c i n hình c ch ra hình 11.

5.2 Vùng mode r ng

Th ng nh ng s i u có gi i h n v kích th c lõi và s l ng l h ng (numerical aperture (NA)) trong ch n mode. i v i b t k b c sóng và ng kính lõi nào i u có m t s l ng l h ng c c i m i có th làm cho ch n mode ho t ng. Giá tr c a NA c i u khi n b i nh ng chi t su t khác nhau trong lõi và l p b c. Ch t o m t SIF chu n v i vùng mode r ng s òi h i i u ch nh chi t su t trong l ng ng pha h i hoá h c CVD v i chính xác r t cao ($10^{-6} \leq$), i u này s làm gi i h n ng kính c a tr ng mode (mode field diameter (MDF)). Thông th ng MDF c a SIF c nh ngh a là $1/e$ r ng c ng là kho ng 9 μm cho b c sóng 1.55 μm .

Trong tr ng h p PCF, MDF có th thay i trong ch n mode tu thu c và yêu c u. Vùng mode r ng có th c thi t k b ng cách t ng b c nh y m ng (h ng s m ng) c a l p b c quang t (g b m t hay nhi u tâm l khí) i u này ã c th c hi n b i Bagget và các c ng s [23]. Lõi SIF và PCF l n có th có m t MDF t ng t t i b t k b c sóng c b i t nào trong tr ng h p PCF có n ng nh khuy t t t. Tuy nhiên PCF v n gi l i n mode trong m t gi i r ng t n s , trong khi SIF thu c a mode g n b c sóng thi t k .

M t lo i PCF mode l n có MDF t 9-26 μm và n mode cho t t c các b c sóng . MDF 9 μm có th có c SIFs 1.55, nh ng i v i b c sóng 400nm PCF t ng t có lõi l n h n 10 l n so v i s i tiêu chu n. PCFs v i MDF l n có c u trúc mà lõi bao g m m t vài thanh thay th l khí. Trên th c t gi i gi i h n suy gi m s d ng lõi n mode r ng. [23] ã ch ra r ng s i thông th ng và PCF v i vùng mode t ng t .

5.3. Tính tán s c

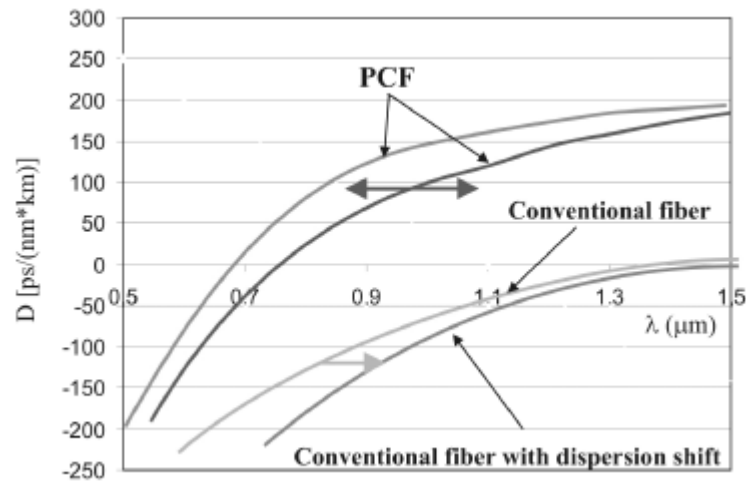
Trong SIFs s tán s c t ng do v t li u và ng d n sóng. Không gi ng nh s i thông th ng tinh th quang t d n sóng tán s c r t l n. H n n a “v t li u tán s c” c thay i b ng l p b c quang t nhân t o v i nh ng l khí. L p b c tinh th quang t thay i l n trên m t d i b c sóng h p. M t thông s quan tr ng mô t tính ch t c a s i là tán x v n t c nhóm (group velocity dispersion (GVD)). Nó c nh ngh a nh sau:

$$GVD = \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_{\text{eff}}}{d\lambda^2}, \quad (8)$$

Trong ó n_{eff} là chi t su t hi u d ng $n_{\text{eff}} = \frac{\beta(\lambda, n_m(\lambda))}{k_0}$.

Nh ng c tr ng Tán s c PCFs có th d dàng ch rõ do tính linh ho t (c a) kích th c l khí và v trí trong l p b c quang t . Nó không t ng t nh tính ch t c a

SIF, khi có nh ng gi i h n c nh cho nh ng thay i c a nh ng thông s khi ch n mode ho t ng.



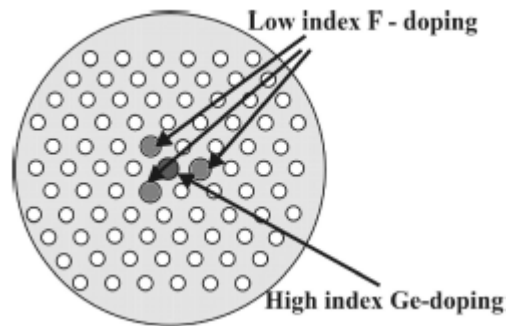
Hình 12. so sánh tán s c trong SIF và trong PCF

Khi thay i b c nh y m ng (h ng s m ng) và kích th c l khí trong PCFs. B c sóng tán s c i m không (zero-dispersion wavelength) có th d ch chuy n v phía d i b c sóng nhìn th y [24](hình 12). Trong tr ng h p s i thông th ng b c sóng tán s c i m không b gi i h n phía sóng ng n kho ng 1.3 μm và ch có th d ch v phía b c sóng dài h n. S i v i s d ch chuy n s tán s c là do chi t su t vòng quanh lõi th p.

N u tán s c i m không trong vng kh ki n, nó t ng a ra v trí (d th ng) tán s c trong m i m kh ki n. PCF v i m t v trí tán s c có th c s d ng cho tán s c bù trong dây thông tin liên l c.

Ngoài ra PCF v i tán s c ph ng có th c t o ra [24]. PCF v i m ng l c giác và h ng s m ng là $=2.62 \mu\text{m}$ và ng kính l khí $a=0.36 \mu\text{m}$ có ph ng 2 ps/(km*nm) c báo cáo trong gi i 1.3 – 1.9 μm b i Ferrando và các c ng s [26]. Có s suy gi m cao[25]. Trong tr ng h p SIFs th ng c b sung tán s c ph ng v i d i b ng thông c c i 300 nm ã c t o ra.

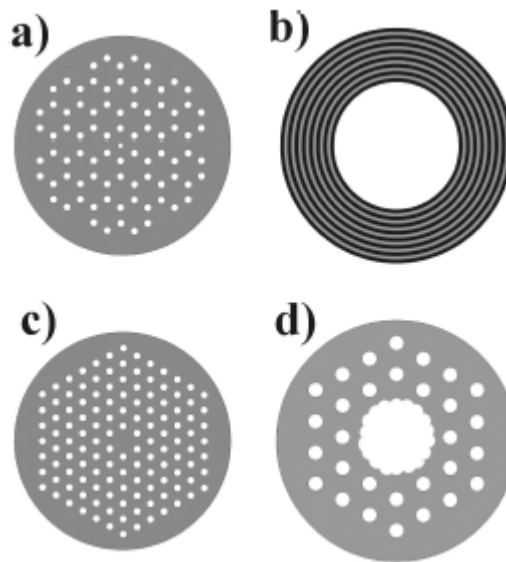
kh c ph c nh c i m này m t thi t k m i c a PCF v i lõi tam giác c xu t b i Hansen [26]. M t ph n c a lõi có chi t su t h i cao h n m t chút do pha t p Ge và bao quanh b i ba vùng pha t p lo i F v i chi t su t th p (hình 13). M t lõi bao quanh v i l p b c quang t b ng cách thay i nh ng thông s c a c u trúc , nh ng tính ch t tán s c khác nhau. M t thi t k khác c a ra b i Saitoh và các c ng s [27]. ph ng $\pm 0.5 \text{ ps}/(\text{km} \cdot \text{nm})$ c d oán trong gi i 1.19-1.69 mm v i suy gi m t ng i th p.



Hình 13. m t khái ni m m i v PCF sau Hansen [26]. Ph n tâm c a lõi có chi t su t cao h n và ba thanh bao quanh có chi t su t th p h n. Lõi c bao quanh b i l p b c quang t l c giác. Nh ng thông s khác nhau c a nh ng tính ch t tán s c khác nhau c a vào.

6. S I LÕI TR NG

S i lõi tr ng bao g m m t lõi tr ng c bao quanh b i c u trúc l p b c micro v i s s p x p nh ng l khí thu tinh tu n hoàn. Có hai lo i s i l tr ng : Th nh t là s i l tr ng l p b c c làm b i l khí phân b tu n hoàn [28](quang t hai chi u), th hai là l p b c quang t c làm t m t dãy nh ng ô khí hình tròn [29](nhì u x Bragg, tinh th quang t m t chi u). Trong c hai tr ng h p i u ki n ph n x n i là không y khi lõi khí có chi t su t nh h n l p b c. Ánh sáng có th truy n d c s i ch v i c ch gi i c m (bandgap) quang t .



Hình 14. nh ng lo i PCFs d i c m quang (photonic bandgap) t khác nhau: (a) S i d i c m quang t hình t ong (Broeng và các c ng s . [28]), (b) S i lõi nhì u x Bragg (Vienn các c ng s . [29]), (c) S i d i c m quang t lõi r n m ng l c giác, (d) S i lõi m ng l tr ng r ng (Mangan và các c ng s . [30]).

Ch v i m t phân b nh c a ánh sáng truy n trong thu tinh t t c nh ng t ng tác liên quan t i thu tinh và ánh sáng (tán s c, tán x , tác ng phi tuy n) c gi m nhanh. Nó d n t i truy n qua c c th p. M t báo cáo v s i l tr ng g n ây v i l p b c quang t hai chi u có suy gi m t t i 1.7 dB/km v i b c sóng 1.56 μm cho m u th 800 m [30]. Nó c xây d ng trên m ng l c giác v i ng kính lồi tr ng là 20 μm c t o do d i b 19 s i nh (hình 14 d). ây là b c ti n l n so v i các báo cáo tr c ó suy gi m t i 13 dB/km [31], tuy nhiên v n có suy gi m nh h n v i s i silica suy gi m là 0.15 dB/km [32].

M t lõi l n cho phép 99% n ng l ng truy n qua không khí. Do v y nên tính ch t v t lý c quan tâm nh t là suy gi m trong s i. Trong s i silica thông th ng suy gi m là do tán x Rayleigh b c sóng ng n và h p th photon b c sóng dài trong v t li u kh i. Nó cho suy gi m c c i xung quanh 1550 nm. Trong lõi l tr ng h u h t n ng l ng c truy n qua không khí, tác ng c a tán x Rayleigh và h p th a photon suy gi m nhanh chóng. M t bên trong gi a lõi và lớp b c quang t có gh gh v i kích th c có th nhìn th y c là nguyên nhân chính gây nên s suy gi m trong s i l tr ng.

Nh ng báo cáo g n ây ã ua ra s i lõi tr ng không khí - silica Bragg [29] truy n qua trong gi i b c sóng 0.4-2.2 μm và suy gi m 10 dB/km. B c sóng truy n qua l n nh t kho ng 0.4 μm i v i s i 120 μm , 1.4 μm i v i s i 80 μm . th t thú v là s i v i lõi r ng có th truy n v i suy gi m 0.95 dB/km b c sóng 1950 nm. suy gi m c a PCF t ng theo λ^3 và nó c gi i h n b i s h p th h ng ngo i trong thu tinh, trong khi t l truy n n ng l ng (0.25-1%).

M t ph n c a s i l tr ng c ng d ng trong v i n thông do m t mát ng truy n th p ngoài ra nó còn h a h n ng d ng trong l nh v c khác. Khi nh ng tác ng phi tuy n trong lõi không áng k nh ng s i này là ng c viên s m t cho l nh v c truy n n ng l ng trong y h c, cho tr ng h p n ng l ng liên t c và xung. nh n ng l ng truy n 2 MW kho ng cách 200 m c báo cáo trong [33]. N ng l ng c ng b c hai l n h n truy n trong s i liên t c.

Nh ng b c sóng “l ” có suy gi m cao trong s i thu tinh, có th truy n thành công ra l p ngoài c a s i. Nó có ý ngh a r t l n trong y h c, sinh h c và trong phép o ph , truy n ánh sáng trong d i ph r ng ho c b c sóng xác nh. Lõi tr ng có th ch a ây tinh th l ng ho c nhi u lo i thu tinh [34]. M t vài ng d ng nh c u trúc c a c m b i n c ng c gi i thi u. nh ng h t bay trong s i lõi tr ng kho ng cách trên 150 mm v i n ng l ng ngu n laser 80 mW ã c báo cáo trong [35]. Nó cho th y kh n ng truy n c a h t micro trên m t quãng ng dài trong m t ng d n.

7. S I V INH NG TÍNH CH T D C BI T

7.1 S i lõi ôi

C u trúc hai hay nhi u lõi c ch t o v i k thu t b c chi t su t (step-index) truy n th ng c ng d ng trong nhi u tr ng h p nh nh ng b ghép nh h ng, b a h p gi i a h p b c sóng, c m b i n. V i ký thu t ch t o a ng nh ta có th d dàng t o ra PCF a lõi h n là ph ng pháp b c chi t su t truy n th ng. M t thi t k yêu c u tính ti p n i và tính tán s c (phân tán) c a PCFs a lõi c ch n m ng tinh th c a s i, hình d ng l tr ng, v trí lõi, nh ng l khuy t trong c u trúc tinh th

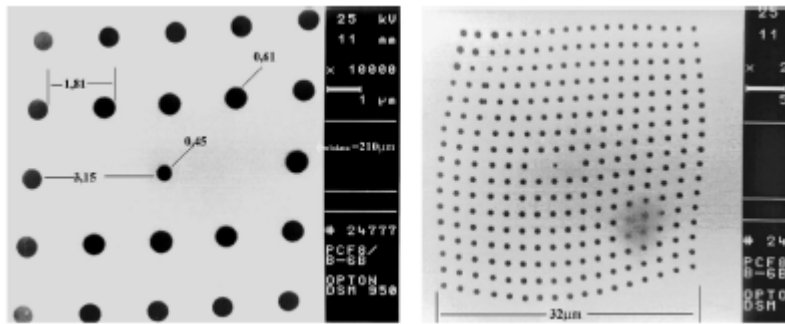
...v.v ph i phù h p. Trong m t s i n có th có nh ng lõi có ng kính khác nhau và tính ch t truy n c a PCF lõi ôi c khám phá b i Mangan và các c ng s [36]. Nó c s d ng nh c p nh h ng v i công t c c và nhi t [37] nh gi i b ng thông [38]. C m bi n s c c ng [39]. PCFs hai lõi có h s khúc x kép cao c s nh b tách phân c c [40].

Trong PCFs lõi ôi chúng ta gi s r ng t n t i hai l khuy t tinh th nút m ng trong thu tinh r n thay vì l khí (hình 15). Hai lõi r n c tách ra b i hai l khí n. M t mode c b n trong c u trúc lõi ôi bao g m b thành ph n, v i hai thành ph n cho phân c c tr c giao. i v i m i phân c c có thành ph n mode ch n và l .

i v i hai thành ph n phân c c tr c giao dài k t n i L_x c chia ra thành nh ng thành nh ng h s truy n c a thành ph n ch n và l trong mode c b n nh :

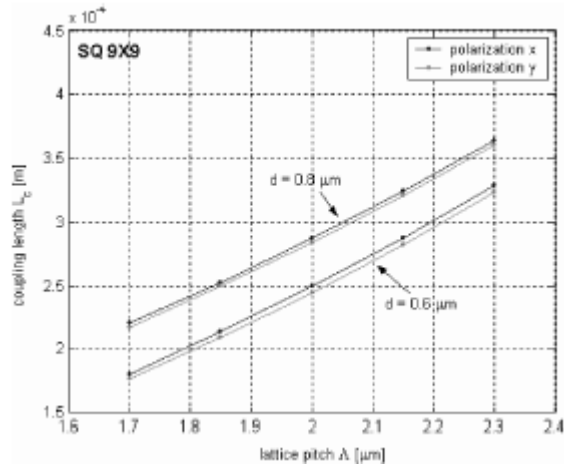
$$L_{x,y} = \frac{\pi}{\beta_{\text{even},x,y} - \beta_{\text{odd},x,y}} = \frac{\lambda}{2(n_{\text{even},x,y} - n_{\text{odd},x,y})}, \quad (9)$$

Trong ó $\beta_{\text{even},x,y}$ và $\beta_{\text{odd},x,y}$ là h ng s d n i v i thành ph n phân c c tr c giao trong mode c b n. $n_{\text{even},x,y}$ và $n_{\text{odd},x,y}$ là chi t su t c a thành ph n ch n và l cho phân c c tr c giao trong mode c b n.

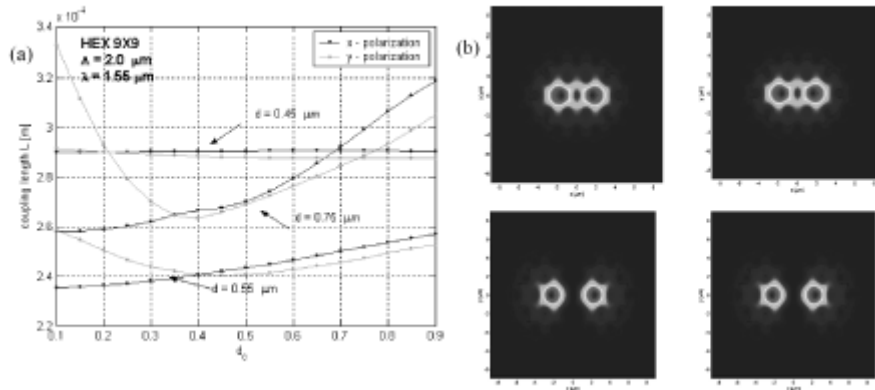


Hình 15. M t c t c a s i PCF hai lõi v i m ng vuông, ng kính s i 220 μm , h ng s m ng = 1.81, ng kính l d = 0.61 μm ($d/L_x = 0.34$) và ng kính tâm l dc = 0.45 μm . m u c ch t o b ng ph ng pháp IEMT.

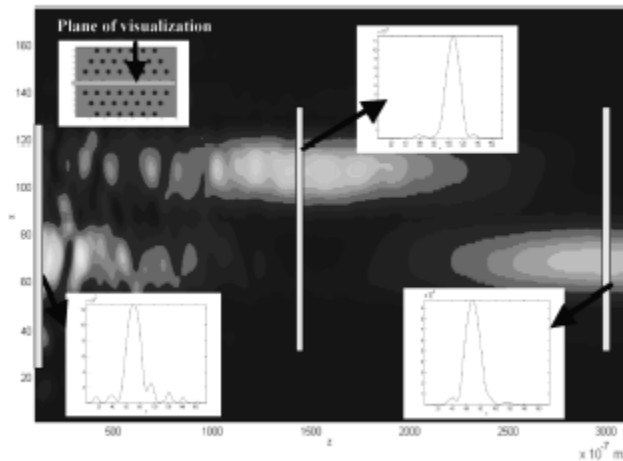
Nhìn chung b n thành ph n c a mode c b n có th có h ng s truy n khác nhau . ó là do khúc x kép và dài k t n i, L_x và L_y khác nhau c a PCF v o nh ng thành ph n phân c c tr c giao (hình 16). Tuy nhiên i v i m i c u trúc kích th c c a tâm l khí có th c i u ch nh t c cùng dài k t n i cho các phân c c . S phân c c ph thu c vào k t n i lõi ôi c ch ra trong hình 17 và 18.



Hình 16. *đài k t n i trong hàm c a h ng s m ng i v i m ng l c giác và ng kính l khí khác nhau $d = 0.6 \mu\text{m}$ và $d = 0.8 \mu\text{m}$.*



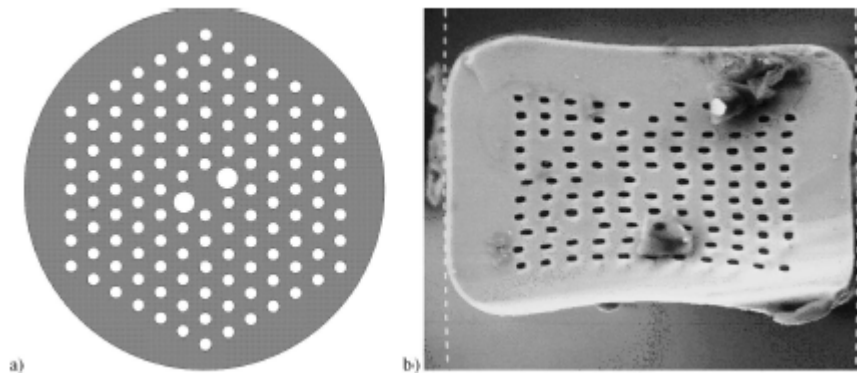
Hình 17. (a). *đài k t n i hàm c a ng kính tâm l khí i v i m ng luc giác và b c nh y m ng $= 0.2 \mu\text{m}$, (b) phân b c ng cho thành ph n mode c b n d n trong phân c c ph thu c vào PCF lõi ôi : b c nh y m ng $= 2.0$, h s l p y d/ $= 0.3$ và ng kính tâm l dc $= 0.4 \mu\text{m}$, $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, $L_{xy} = 241 \mu\text{m}$*



Hình 18. ô ph ng FDTD theo nh h ng k t n i trong ch phân c c ph thu c vào PCF lõi ôi. Nh ng h t a vào phân c c 45° theo h ng kích thích hai phân c c tr c giao.

7.3 S i l ng chi t cao (Highly birefringent(HB))

Trong s i quang lo i *bow tie* và *panda*, s l ng chi t cao là do c ch ng su t trong lõi, trong khi ó s i v i m t c t hình elip s khúc x kép cao c t o ra là do s phá v c u trúc i x ng. L ng chi t cao c a s i tinh th quang t c t o ra là do phân b tr c không i x ng c a chi t su t tác ng (ph thu c vào phân b kích th c và không gian c a l) [41-44]. i u quan tâm trong PCF l ng chi t cao ang t ng lên vì nó c mong ch có tính l ng chi t c c cao so v i s i quang tiêu chu n. Trong PCF v i m ng l c giác và l khí tròn, i x ng có th t c a m = 6. Steel và các c ng s [45] ch ra r ng i v i PCFs mode c b n b suy gi m và nh ng s i không có tính l ng chi t. Steel và Osgood [46] d oán r ng tính l ng chi t cao trong s i v i l elip i x ng c a c u trúc m = 2. Szpulak và các c ng s ch ra r ng nh ng c u trúc khác c a PCF có các ph n t phân c c trong mode c b n b suy gi m nhi u và nó có th c s d ng nh s i phân c c trên d i ph c r ng [47]. i x ng m t g ng (mirror planes) m = 2 trong s i có th c ch rõ trong nh ng c u trúc khác nhau: m ng l c giác v i l tròn và lõi elip (hình 19). S suy gi m mode c b n c sau ó nâng lên và hai mode phân c c HE_{11}^x và HE_{11}^y mang nh ng h ng s d n sóng khác nhau.



Hình 19. Ví d v PCF l ng hi t cao: (a) HB PCF v i m ng l c giác và l tròn (Suzuki và các c ng s . [44]), (b) M u th HB PCF d ng hình ch nh t v i m ng hình ch nh t và l elip c a IEMT.

L ng chi t B c nh ngh a nh s khác nhau gi a h ng s d n β_x và β_y c a hai thành ph n phân c c HE_{11}^x và HE_{11}^y c a mode c b n.

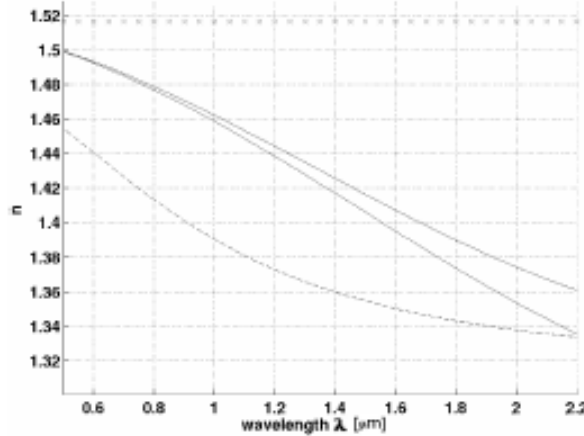
$$B = \lambda(\beta_x - \beta_y)/2\pi = |n_{\text{eff}x} - n_{\text{eff}y}|. \quad (10)$$

Nhi u công trình nghiên c u ã ch ra r ng trong c u trúc m ng l c giác và hình ch nh t, tính l ng chi t t ng khi gi m t n s chu n hoá Λ_x/λ , v i $\Lambda_x/\lambda = 0.8$. tính l ng chi t trong c u trúc v i m ng hình ch nh t có th tính c b ng lý thuy t giá

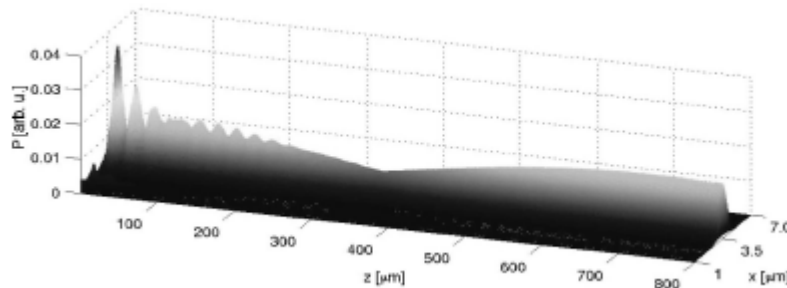
tr 10^{-2} . Mô hình c u trúc m ng hình ch nh t v i các thông s $\Lambda_x = 1.24 \mu\text{m}$, $\Lambda_y = 0.96 \mu\text{m}$, $l_x = 1 \mu\text{m}$, $l_y = 0.51 \mu\text{m}$.

L ng chi t $B = 1.1 \times 10^{-2}$ và ch mang mode c b n. Chi t su t tác ng c a thành ph n phân c c và phân b tr ng cho t i t d n s i c ch rõ trong hình 20 và 21.

Khi tính l ng chi t trong PCFs do s phân b tr c b t i x ng c a khúc x tác ng bao quanh lõi, chúng không nh y cao (highly insensitive) v i nhi t . Vì v y nên PCFs l ng chi t cao c s d ng nhi u trong c m b i n và nh ng ứng d ng trong l nh v c v i n thông nh là thi t b bù mode phân c c phân tán trong s i dài .



Hình 20. Chi t su t tác ng (The effective refractive index) i v i nh ng mode mang b i s i tinh th quang t v i h ng s m ng $\Lambda_x = 1.24 \mu\text{m}$, $\Lambda_y = 0.96 \mu\text{m}$ và $l_x = 1 \mu\text{m}$, $l_y = 0.51 \mu\text{m}$. ng li n nét là mode mang, ng gh ch và ch m là chi t su t tác ng l p b c quang t và chi t su t.



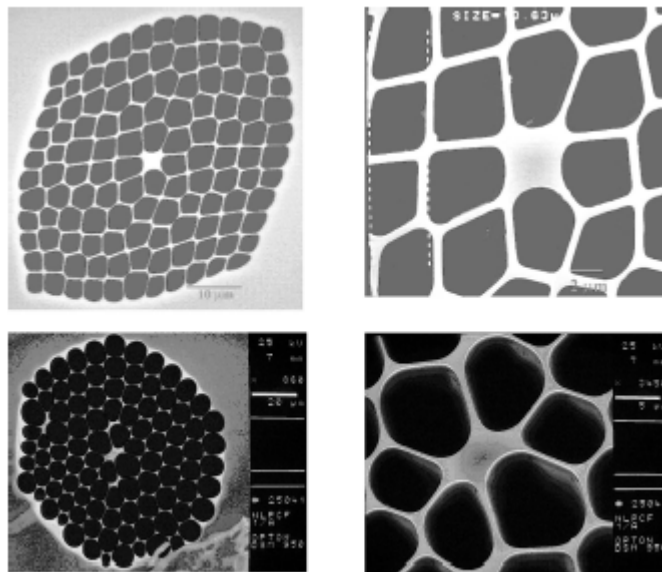
Hình 21. Bi u di n dài th i gian c a vector Poynting trong tr ng thái b n : phân c c tu n tính 45° v i nh ng tr c chính c a s i. Mô ph ng FDTD ba chi u c a PCF l ng chi t cao.

7.3 S i phi tuy n và th h siêu liên t c

M t PCF v i lõi r t nh có th có tính ch t phi tuy n r t cao. Có th ph i h p lõi có kích th c lõi nh (ng kính nh h n $1 \mu\text{m}$) và khác bi t r t l n v kích th c lõi/l p b c (lên t i 0.4) cho phép chúng ta t ng s i v i vùng nh h ng c c nh và h s phi tuy n cao (hình 22). Chi t su t c a l p b c th p là do h s l p y r t cao. Trong h n 90% i v i l p b c ch a y không khí. Nh v y ánh sáng m nh k t n i trong lõi nh . H n n a tính ch t tán s c có th c thi t k làm nh ng nh

h ng phi tuy n khác nhau. Nó làm m t PCF phi tuy n có th tr n b n sóng, khuếch i Raman, khuếch i thông s quang h c và th h siêu liên t c ng d ng trong o l ng, ch p X quang c ng h ng quang h c (OCT) ho c quang ph . Có c truy n qua, tán s c và phi tuy n phi i có s cân nh c. PCF cho phép m t s thay i tính ch t tán s c trong m t d i c r ng bao g m c nh ng t n s c d th ng c a b c sóng d i 1 micro và kích th c c a lõi mà là bi n i tác ng phi tuy n c a s i. Wadsworth và các c ng s ã báo cáo v s nh h ng truy n sóng c a s i 850 nm cho t i 20 m. S i có tán s c i m không 670 nm [48].

S i PCF ã c ch ng minh tác ng c a môi tr ng i v i th h siêu liên t c. Th h siêu liên t c l n u tiên a ra n m 1970 và t ó c nghiên c u m r ng ra nhi u v t li u khác nhau.



Hình 22. PCF phi tuy n có kích th c lõi r t nh và t s khác bi t lõi / l p b c r t l n vì ph n không khí l n. Nh ng m u PCF phi tuy n c ch t o Vi n Công ngh V t li u i n t in Warsaw. S i có ng kính lõi 1-3 μm, ng kính l 3-5 μm, ng kính s i 200-270 μm.

Th h siêu liên t c là k t qu c a m t và i hi n t ng phi tuy n khác nhau gi ng nh t i u ch pha, tán x Raman, t ng thích pha và solitons.

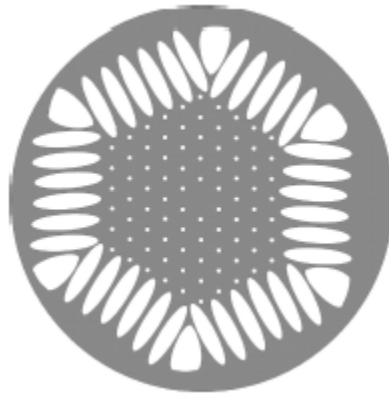
V nguyên t c nó là ngu n phát xung v i s m r ng ph quan tr ng i v i xung kích thích quanh h c. Tác ông siêu liên t c ã c báo cáo trong PCF v i b m trong ch phân tán d th ng ho c b c sóng tán s c i m không trong c hai d i b c sóng nhìn th y và h ng ngo i. H u h t nh ng thí nghi m u s d ng b m emtosecond (10^{-15} giây) m r ng d i ph t 400 t i h n 1750 nm [49]. B m xung picosecon (10^{-13} giây) cho d i ph nh h n m t chút nh ng ngu n laser r h n. Andersen và các c ng s ã thu c t b m xung l c 2.5 ps m t d i ph t 15800 t i 1620 nm [50]. S phát sinh siêu liên t c trong mi n này có th có nh ng ng d ng trong h th ng phân chia sóng nh s th c hi n c a ngu n xung ng n a b c sóng

ho c s chuy n i b c sóng theo ki u multicasting (t m t t i nhi u (one-to-many)). H s phi tuy n c báo cáo trong kho ng $30-70 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ $1.55 \mu\text{m}$.

PCF h a h n trong l nh v c truy n thông i v i th h siêu liên t c, nh ng tính ch t phân tán thi t k t c các th h trong mi n c th . Nó cho phép chúng ta chuy n i ánh sáng thành hai b c sóng l n h n và nh h n trong d i bát (octave) v i m c n gl ng t ng i th p.

7.4 S i laser và khuy ch i

S i khuyêcsh i là m t thành ph n c a l nh v c vi n thông hi n i. Ngoài ra s i laser ngày càng tr nên quan tr ng trong y h c, quang ph và trong công nghi p. So sánh v i laser r n thông th ng, thu n l i l n nh t c a s i laser kh n ng gi i nhi t. Nó là do t l l n c a b m t s i so v i chi u dài. Nh ng thông s h t ch ph thu c vào thi t k c a s i và ph m ch t c a nó không nh h ng khi có s thay i, bi n đ ng nhi t. Nh v y nh ng s i có th c b m b i laser diode a mode và t o ra ho t ng laser/khuy ch i trong ch n mode. SIFs thông th ng cho ng đ ng laser bao g m lõi và l p b c ôi làm t nh ng v t li u khác nhau, v t li u i n hình nh t cho l p b c ngoài là polymer. Ho t ng c a nh ng thi t b này c gi i h n b i kích th c lõi, s l ng l h ng và tán x Raman trong silica pha t p. Nó là do gi i h n công su t b phát ra. PCF v i l p b c ôi c làm t silica v i hai l p b c quang t có tính ch t khác nhau. L p b c phía trong có s l ng l h ng cao và xung quanh là m ng c a nh ng c u silica mà h p h n áng k b c sóng đ n b c x . Nh ng ion t hi m c pha vào ho t ch t c a s i laser nh Yb, Nd, Er, Er/Yb, Tm, Ho và a vào lõi c a PCF (hình 23).



Hình 23. PCF l p b c ôi (Limpert và các c ng s [51]). M t lõi r n c bao quanh l p b c v i h s l p y th p (lõi bên trong), nó óng vai trò nh m t lõi b m khi b m tr ng b gi i h n b i l p b c th hai có h s l p y cao (l p b c ngoài).

PCF v i l p b c ôi c báo cáo trong [51]. Nó nh m t s ipj v i l p b c không khí v i s l h ng cao ng kính c a l p b c trong (lõi b m) có th c gi m áng k trong khi ó sáng ch p nh n c a b m phát ra c gi a l i. Vì v y t ng giá tr vùng lõi ho t ng l p b c trong (lõi b m), s h p th ánh sáng b m c c i thi n. Nó cho phép chúng ta s đ ng r t i n n gl ng cao m r ng vùng phát x b m. Vùng mode r ng cho ch n mode cho phép thu c n ng l c cao v i

m t n ng l ng t ng i th p. Trong ng d ng này hi n t ng phi tuy n và m c h h i s i do nhi t có th c tránh. Tuy nhiên nh ng v n v i s tán x nh t c a s i có th làm gi i h n công su t th c hi n , khi nhi t c a l khí c l p v i lõi t môi tr ng. M t khác b c x không có tác ng tr c ti p lên l p v t li u ph , i u này làm cho s i ho t ng công su t cao.

Pha t p nh ng v t li u nh y sáng s i nhi u x Bragg c ng c phát tri n cho nh ng s i laser. Limpert và các c ng s [51] ã báo cáo laser r ng v i s i tinh th quang t l p b c không khí pha t p ytterbium có công su t phát t i 80 W v i dài 2.3 m, vùng mode r ng. suy gi m tác ng 78% và ch n mode ngang t c v i vùng tr ng mode $350 \mu\text{m}^2$. Lõi có d ng hình tam giác v i ng kính kho ng 28 μm s l h ng 0.05, trong khi ó nh ng thanh pha t p có ng kính 9 μm . ng kính l p b c là 150 μm v i s l h ng 0.55. V i t l n ng l ng trên dài ($\gg 35 \text{ W/m}$) cao h n báo cáo s i laser n ng l ng cao l p b c ôi. S i có vùng mode r ng v i c u trúc micro không khí-l p b c pha t p ytterbium c d oán có thanh công su t l i ra m c kW trong ó tính ch t phi tuy n b gi i h n ho t ng [52].

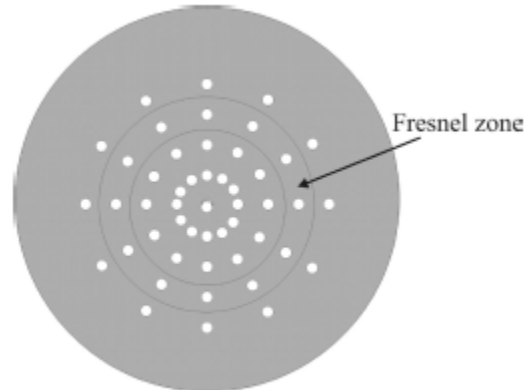
7.5 S t o nh v i s i PCF

M t PCF c thi t k c bi t có th c s d ng nh m t s i t o nh linh ho t thay th cho bó s i hình nh. Bó s i hình nh c s d ng t o nh trong vùng khó ti p c n, nh bên trong c th con ng i, lò ph n ng h t nhân và ng c ph n l c...v.v và nó c k t n i v i ma tr n hai chi u trong h th ng thông tin. ã có nhi u n l c ch t o bó v i kích th c và v trí ng u trong lõi và có h s chi m gi cao. Ngoài ra m t ng kính c c ti u c a bó ít nh t là m t vài millimet, nó có gi i h n trong m t s tr ng h p ng d ng (ví d nh n i soi nh ng khoang nh trong c th ...v.v). K thu t PCF thành công trong v i c ch t o m t s i t o hình linh ho t m i có ng kính milimet. hai c ch d n c a ra, lõi r n và lõi khí. C hai c ch u có kh n ng k th p hình nh truy n Eijkelenborg [53]. M t s i có c u trúc micromet v i ng kính 800 μm , ng kính lõi khí 112 μm v i kho ng tr ng 42 μm ã c ch t o và th nghi m thành công.

7.6 S i Fresnel

Có nhi u m i quan tâm t i v i c v t qua gi i h n tán s c trong không gian t do c a ánh sáng truy n c ng cao. M t ví d v s tán s c d ng sóng trong không gian t do là sóng Bessel. Nó có th c mô t nh t p h p c a sóng Gaussian truy n d c theo tr c sao cho ch ng lên nhau t o nên c ng nh gi a và phân b vùng lân c n là sóng Bessel. Trên th c t nó r t khó sinh ra sóng này ngoài d i Raighley trong quang h c c i n. K thu t s i c u trúc micro cho phép ch t o s i v i vùng Fresnel c xác nh b i vòng c a l tr ng v i kho ng cách không gian l tr ng có th l n h n áng k so v i b c sóng truy n. Vòng ng tâm c a l (vùng Fresnel) có nhi u chi t su t tác ng (effective refractive indexes) [54]. Hình 24 ch ra ánh sáng truy n qua s i tán x trên b m t c a l khí và nh h ng c a c u trúc , d ng nh c ng tr ng trong tâm tr c s i. i u này cho phép ánh sáng t p chung l i ra c a s i t i tr ng xa mà không có b t k ng kính b h tr , trong khi các lo i s i thông th ng, ánh sáng thoát ra do tán x và lan r ng.

Nhìn chung s phát sinh h truy n d n c a sóng quang t ng t nh truy n trong không gian t do cho phép i u khi n và nh d ng tr ng phát sinh trong khô ng gian t do s d ng c ng h ng tán x c a nhi u ngu n [55].



Hình 24. Khái ni m s i Fresnel (theo Canning và các c ng s [54]).

8. K T LU N

S i tinh th quang t là s k t h p tính ch t c a tinh th quang t hai chi u và s i c i n. Nghiên c u trên các s i tinh th quang t v n còn r t tr và chúng ta có th mong i nhi u b c t i n m i, nh ng ph ng pháp chính xác h n và hi u qu h n v mô hình c ng nh c tính.ph ng th c d n sóng c b n trong quang t d i vung c m ã c ch t o và th nghi m. M t vài tính ch t áng quan tâm nh s i d n lõi tr ng s i d n n mode liên t c, tính ch t chui h m v i tinh th l ng ã c nghiên c u và th nghi m chúng ta có th hy v ng m t lo t nh ng ng d ng m i trong l nh v c vi n thông, c m bi n, chuy n ng chùm h t, ph u thu t, quang ph và s i laser s c a ra m t vài n m t i.

danh m c tài li u tham kh o

- [1] P. Yeh, A. Yariv, E. Marom, *J. Opt. Soc. Am.* 68, 1196 (1978).
- [2] J.C. Knight, T.A. Birks, P.St.J. Russell, D.M. Atkin, *Opt. Lett.* 21, 1547 (1996).
- [3] J.C. Knight, J. Broeng, T.A. Birks, P.S. Russel, *Science* 282, 1476 (1998).
- [4] P.St. Russel, *Science* 299, 358 (2003).
- [5] R.F. Cregan, B.J. Mangan, J.C. Knight, T.A. Birks, P.S. Russell, P.J. Roberts, D.C. Allan, *Science* 285, 1537 (1999).
- [6] K. Kiang, K. Frampton, T. Monro, R. Moore, J. Tucknott, D. Hevak, N. Brode - rick, D. Richardson, H. Rutt, *Electron. Lett.* 38, 546 (2002).
- [7] R. Stepien, L. Kociszewski, D. Pysz, *Proc. SPIE* 3570, 62 (1998).
- [8] D. Pysz, R. Stepien, P. Szarniak, R. Buczynski, T. Szoplík, *Proc. SPIE* 5576, 78 (2004).
- [9] T. Monro, Y. West, D. Hevak, N. Broderick, D. Richardson, *Electron. Lett.* 36, 1998 (2000).
- [10] V. Ravi Kanth Kumar, A. George, J. Knighr, P. Russell, *Opt. Expr.* 11, 2641

(2003).

- [11] A. Ta'ove, S. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite Di®erence Time-Domain Method*, Artech House, Boston 2000.
- [12] F. Fogli, G. Bellanca, P. Bassi, I. Madden, W. Johnstone, *IEEE J. Lightwave Technol.* 17, 136 (1999).
- [13] Z. Zhu, T.G. Brown, *Opt. Expr.* 10, 853 (2002).
- [14] E. Silvestre, M.V. Andres, P. Andres, *IEEE J. Lightwave Technol.* 16, 923 (1998).
- [15] A. Ferrando, E. Silvestre, J.J. Miret, P. Andres, M.V. Andres, *Opt. Lett.* 24, 276 (1999).
- [16] D. Mogilevtsev, T.A. Birks, P.St.J. Russell, *J. Lightwave Technol.* 17, 2078 (2001).
- [17] W. Zhi, R. Guobin, L. Shuqin, J. Shuisheng, *Opt. Expr.* 11, 980 (2003).
- [18] A. Cucinotta, S. Selleri, L. Vincetti, M. Zoboli, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 14, 1530 (2002).
- [19] P. White, R.C. McPhedran, L.C. Botten, G.H. Smith, C.M. de Sterke, *Opt. Expr.* 9, 721 (2001).
- [20] R. Scarmozzino, A. Gopinath, R. Pregla, S. Helfert, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics* 6, 150 (2000).
- [21] T.A. Birks, J.C. Knight, P.St.J. Russell, *Opt. Lett.* 22, 961 (1997).
- [22] J.C. Knight, T.A. Birks, P.St.J. Russell, J.P. de Sandro, *JOSA A* 15, 748 (1998).
- [23] J. Bagget, T. Monro, K. Furusawa, D. Richardson, *Opt. Lett.* 26, 1045 (2001).
- [24] A. Ferrando, E. Silvestre, P. Andres, J.J. Miret, M.V. Andres, *Opt. Expr.* 9, 678 (2001).
- [25] H. Reeves, J. Knight, P. Russell, P. Roberts, *Opt. Expr.* 10, 609 (2002).
- [26] K. Hansen, *Opt. Expr.* 11, 1503 (2003).
- [27] K. Saitoh, M. Koshiba, T. Hasegawa, E. Sasao ka, *Opt. Expr.* 11, 843 (2003).
- [28] J. Broeng, T. Sondergaard, S. Barkou, P. Barbeito, A. Bjarklev, *J. Opt. A; Pure Appl. Opt.* 1, 477 (1999).
- [29] G. Vienne, Y. Xu, C. Jakobsen, H.J. Deyerl, T.P. Hansen, B.H. Larsen, J.B. Jensen, T. Sorensen, M. Terrel, Y. Huang, R. Lee, N.A. Mortensen, J. Broeng, H. Simonsen, A. Bjarklev, A. Yariv, in: *Proc. Optical Fiber Communication Conf. (OFC) 2004, OSA Proc. Series*, Vol. 95, Optical Society of America, Washington (D.C.) 2004, Paper PDP25.
- [30] B.J. Mangan, L. Farr, A. Langford, P.J. Roberts, D.P. Williams, F. Couny, M. Lawman, M. Mason, S. Coupland, R. Flea, H. Sabert, T.A. Birks, J.C. Knight, P.St.J. Russell, in: *Proc. Optical Fiber Communication Conf. (OFC) 2004, OSA Proc. Series*, Vol. 95, Optical Society of America, Washington (D.C.) 2004, Paper PDP24.
- [31] N. Venkataraman, M.T. Gallagher, C.M. Smith, D.MÄuller, J.A. West, K.W. Koch, J.C. Fajardo, in: *Proc. ECOC 2002, Copenhagen (Denmark) 2002*, Paper PD1.1.
- [32] K. Nakayama, T. Saitoh, M. Kahui, K. Kawasaki, M. Matsui, H. Takamizawa,

H. Miyaki, in: *Proc. Optical Fiber Communication Conf. (OFC) 2002, OSA Proc. Series, Vol. 70*, Optical Society of America, Washington (D.C.) 2002, postdeadline paper FA10.

[33] D.G. Ouzounov, F.R. Ahmad, D. MÄuller, N. Venkataraman, M.T. Ga llagher, M.G. Thomas, J. Silcox, K.W. Koch, A.L. Gaeta, *Science* 301, 1702 (2003).

[34] T. Larsen, D. Hermann, J. Broeng, A. Bjarklev, in: *29th European Conf. on Optical Communication, ECOC'03, Rimini (Italy) 2003*, Associazione Elettrotecnica et Elettronica Italiana, p. 39.

[35] F. Benabid, J.C. Knight, P. Russell, *Opt. Expr.* 10, 1195 (2002).

[36] B.J. Mangan, J.C. Knight, T.A. Birks, P.S. Russell, A.H. Greenaway, *Electron. Lett.* 36, 1358 (2000).

[37] G. Kakarantzas, A. Ortigosa-Blanch, T.A. Birks, P.S. Russell, L. Farr, F. Couny, B.J. Mangan, *Opt. Lett.* 28, 158 (2003).

[38] P.M. Blanchard, J.G. Burnett, G.R.G. Erry, A.H. Greenaway, P. Harrison, B. Mangan, J.C. Knight, P.S. Russell, M.J. Gander, R. McBride, J.D.C. Jones, *Smart Matter Struc.* 9, 132 (2000).

[39] W. MacPherson, M.J. Gander, R. McBride, J.D.C. Jones, P.M. Blanchard, J.G. Burnett, A.H. Greenaway, B. Mangan, T.A. Birks, J.C. Knight, P.St.J. Russell, *Opt. Commun.* 193, 97 (2001).

[40] L. Zhang, C. Yang, *Opt. Expr.* 11, 1015 (2003).

[41] A. Ortigosa-Blanch, J.C. Knight, W.J. Wadsworth, J. Arriaga, B.J. Mangan, T.A. Birks, P.St.J. Russell, *Opt. Lett.* 25, 1325 (2000).

[42] T.P. Hansen, J. Broeng, S.E.B. Libori, E. Knudsen, A. Bjarklev, J.R. Jensen, H. Simonsen, *IEEE Phot. Techn. Lett.* 13, 588 (2001).

[43] K. Saitoh, M. Koshiba, *IEEE Phot. Techn. Lett.* 14, 1291 (2002).

[44] K. Suzuki, H. Kubota, S. Kawanishi, *Opt. Expr.* 9, 676 (2001).

[45] M.J. Steel, T.P. White, C. Martijn de Sterke, R.C. McPhedran, L.C. Botten, *Opt. Lett.* 26, 488 (2001).

[46] M.J. Steel, R.M. Osgood, Jr., *Opt. Lett.* 26, 229 (2001).

[47] M. Szpulak, T. Martynkien, W. Urbanczyk, in: *Proc. 4th Intern. Conf. on Transparent Optical Networks: ICTON 2004, Wroclaw (Poland) 2004*, National Institute of Telecommunication, Warsaw 2004, p. 91.

[48] W. Wadsworth, J. Knight, A. Ortigosa-Blanch, J. Arriaga, E. Silvestre, P. Russell, *Electron. Lett.* 26, 53 (2000).

[49] H. Hundertmark, D. Kracht, D. Wandt, C. Fallnich, V.V. Ravi Kanth Kumar, A.K. George, J.C. Knight, P.S.J. Russell, *Opt. Expr.* 11, 3196 (2003).

[50] A. Andersen, C. Peucheret, K. Hilligsoe, K. Berg, K. Hansen, P. Jeppesen, in: *Proc. 5th Intern. Conf. on Transparent Optical Networks: ICTON 2003, Warsaw (Poland) 2003*, National Institute of Telecommunications, Warsaw 2003, p. 66.

[51] J. Limpert, T. Schreiber, S. Nolte, H. Zellmer, A. Tunnermann, R. Iliew, F. Lederer, J. Broeng, G. Vienne, A. Petersson, C. Jakobsen, *Opt. Expr.* 11, 818 (2003).

[52] J. Limpert, A. Liem, T. Schreiber, F. RÄoser, H. Zellmer, A. TÄunnermann, *Photonic*

Spectra, May 2004.

[53] M. Eijkelenborg, *Opt. Expr.* 12, 342 (2004).

[54] J. Canning, E. Buckley, K. Lyytikainen, *Opt. Lett.* 28, 230 (2003).

[55] J. Canning, E. Buckley, K. Lyytikainen, *Opt. Expr.* 11, 347 (2003).

Bài vi t này tóm l c t bài báo

Photonic Crystal Fibers

Tác gi : R. Buczynski

e-mail: rbuczyns@igf.fuw.edu.pl

Information Optics Group, Faculty of Physics, Warsaw University

Pasteura 7, 02-093 Warsaw, Poland

Và bài báo

Photonic Crystal Fiber

Tác gi : Aziz Mahfoud