



Ch ãng 2

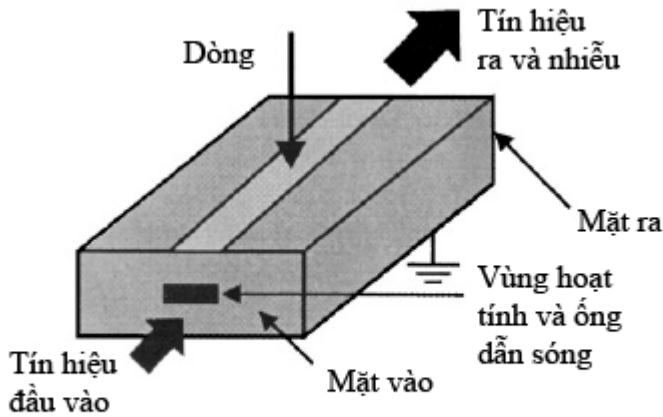
NGUYÊN LÝ C B N

Trong ch ãng này, các nguyên lý c b n c a các SOA c gi i thích. Quá trình khu ch i quang h c và nhi u c ng c th o lu n cùng v i các tham s thi t b c b n bao g m *r ng c a l i*, *nh y phân c c*, *công su t u ra bão hòa* và *h s t p nhi u*.

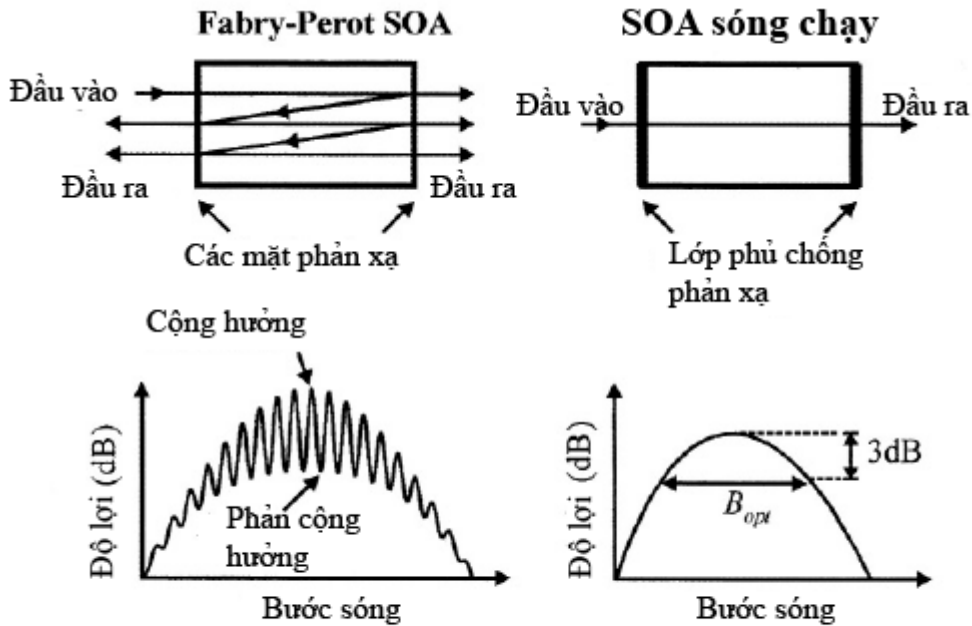
2.1 SOA - MÔ T C B N

SOA là m t thi t b quang i n t mà trong ó d i nh ng i u ki n ho t ãng thích h p nó có th khu ch i tín hi u ánh sáng u vào. S kh i c b n c a SOA c bi u di n trong hình 2.1. Vùng ho t tính trong thi t b truy n l i cho tín hi u u vào. M t dòng i n bên ngoài cung c p ngu n n ng l ãng làm cho quá trình khu ch i có th x y ra. M t ãng d n sóng c tích h p vào ãng i am c m sóng tín hi u lan truy n vào vùng ho t tính. Tuy nhiên s ãng i am c m quang h c này y u vì v y m t s tín hi u s l t qua vùng bao b c m t mát xung quanh. Tín hi u u ra có nhi u kèm theo. Nhi u kèm theo này c t o ra do chính quá trình khu ch i vì v y không th tránh kh i m t cách hoàn toàn. Các m t b khu ch i ph n x t o ra các g n sóng trong ph khu ch i (l i).

Các SOA c chia thành hai lo i chính c bi u di n hình 2.2 : SOA Fabry perot (FP-SOA) trong ó s ph n x t các m t cu i là áng k (ngh a là, tín hi u i qua b khu ch i nhi u l n) và SOA sóng ch y (TW-SOA) trong ó s ph n x có th c b qua (ngh a là tín hi u ch i qua b khu ch i m t l n). Các l p ph ch ng ph n x c dùng t o ra SOA v i h s ph n x b m t nh h n 10^{-5} . TW-SOA không nh y b ng FP-SOA i v i s dao ãng trong dòng phân c c, nhi t và s phân c c tín hi u.



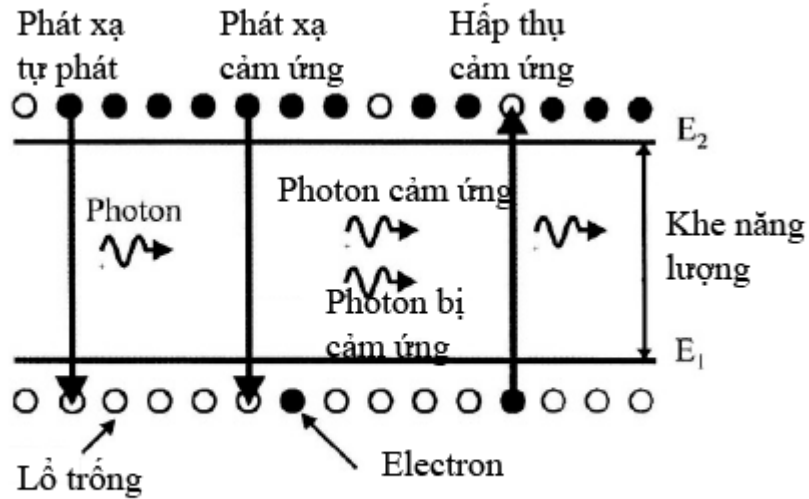
Hình 2.1. Sơ đồ của một SOA



Hình 2.2. Các loại SOA cơ bản và phổ độ lợi tương ứng. Một TW-SOA lý tưởng có phổ độ lợi trơn. Phổ độ lợi của FP-SOA có các răng cưa do sự phản xạ tại các mặt cuối. Các răng cưa độ lợi được phóng to để dễ nhìn.

2.2 NGUYÊN LÝ KHU CH I

Trong m t SOA, các electron (th ãng c g i là các h t t i i n) c tiêm t m t ngu n dòng bên ngoài vào vùng ho t tính. Nh ãng h t t i i n thêm vào này chỉ m nh ãng tr ãng thái trong vùng d ãn c a v t li u vùng ho t tính, l i các l ãng trong vùng hóa tr . Có ba c ãng b c x trong bán d ãn. Nh ãng c ãng này c bi u di n trong hình 2.3 cho các v t li u bao g m hai m c n g l ãng r i r c .



Hình 2.3 Quá trình tự phát và cảm ứng trong hệ hai mức

Trong quá trình hấp thụ cảm ứng, một photon ánh sáng tới với năng lượng thích hợp có thể kích thích một hạt tải điện vùng hóa trị lên vùng dẫn. Đây là một quá trình một mất vì photon bị phá hủy.

Nếu một photon ánh sáng có năng lượng thích hợp tới bán dẫn nó có thể tạo ra sự tái kết hợp cảm ứng tải điện vùng dẫn với lỗ trống vùng hóa trị. Sự tái kết hợp các hạt tải điện này gọi là phóng năng lượng dưới dạng photon ánh sáng. Photon mới này nó sẽ giống hoàn toàn với photon cảm ứng (cùng pha, tần số và hướng, nghĩa là một tính đồng tác kết hợp). Các photon ban đầu và photon cảm ứng làm nảy sinh thêm các dịch chuyển cảm ứng. Nếu dòng tiêm vào cao thì quá trình ngược lại có thể xảy ra khi các hạt tải điện vùng dẫn rơi xuống vùng hóa trị. Trong trường hợp này sẽ phát xạ cảm ứng nên hình thành và vì vậy bán dẫn cho chúng ta một laser quang học.

Trong quá trình phát xạ tự phát, có một xác suất khác không trên một đơn vị thời gian mà một hạt tải điện vùng dẫn sẽ tái kết hợp với lỗ trống vùng hóa trị và do đó phát ra một photon với pha và hướng ngẫu nhiên. Các photon được phát ra một cách tự phát với một khoảng tần số rộng. Các photon được phát ra một cách tự phát về bản chất là nhiễu và chúng đóng góp một phần trong việc giảm một hạt tải điện có sẵn cho laser quang học. Phát xạ tự phát là một quá trình khuếch đại không thể tránh khỏi; vì thế không thể tạo ra một SOA không một mất. Các quá trình cảm ứng chỉ với một bước xử lý cảm ứng, trong khi đó quá trình phát xạ tự phát không phải thu vào nó.

2.2.1 Dịch chuyển tự phát và cảm ứng

Các tính chất vật lý của chất bán dẫn quang học có liên quan trực tiếp đến các quá trình tự phát và cảm ứng. Khảo sát những mối quan

h này chúng ta hãy xét m t h các m c n ng l ng g n v i m t h v t lý c th . Gi s N_1 và N_2 là s nguyên t trung bình trên m t n v th tích c a h c c tr ng b i m c n ng l ng E_1, E_2 t ng ng, v i $E_2 > E_1$. N u m t nguyên t nào ó có n ng l ng E_2 thì có m t xác su t trên m t n v th i gian xác nh nó th c hi n d ch chuy n t $E_2 \rightarrow E_1$, và trong quá trình này nó phát ra m t photon. T c d ch chuy n h t t i i n t phát trên m t n v th i gian t m c hai xu ng m c m t c tính b ng công th c :

$$r_{21}|_{spont} = A_{21}N_2 \quad (2.1)$$

ây A_{21} là tham s phát x t phát c a d ch chuy n t m c hai xu ng m c m t. Cùng v i s phát x t phát c ng có th có các d ch chuy n c m ng . T c d ch chuy n h t t i i n c m ng t m c hai xu ng m c m t (phát x c m ng) là :

$$r_{21}|_{stim} = B_{21}\rho(\nu)N_2 \quad (2.2)$$

ây B_{21} là tham s phát x c m ng c a d ch chuy n t m c hai xu ng m c m t và $\rho(\nu)$ là m t n ng l ng b c x t i t i t n s ν . Các photon c m ng có n ng l ng $h\nu = E_2 - E_1$. T c d ch chuy n c m ng t m c m t lên m c hai (h p th c m ng) là :

$$r_{12} = B_{12}\rho(\nu)N_1 \quad (2.3)$$

ây B_{12} là tham s h p th c m ng c a d ch chuy n t m c m t lên m c hai. T c h c l ng t [1,2] . Ta th y :

$$B_{12} = B_{21} \quad (2.4)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi n_r^3 h\nu^3}{C^3} \quad (2.5)$$

ây n_r là chi t su t c a v t li u, c là v n t c ánh sáng trong chân không. Th (2.5) vào (2.2) ta c :

$$r_{21}|_{stim} = \frac{A_{21}c^3\rho(\nu)N_2}{8\pi n_r^3 h\nu^3} \quad (2.6)$$

Trong tr ng h p b c x c m ng n s c có t n s là v thì t c d ch chuy n c m ng t m c hai xu ng m c m t là :

$$r_{21}|_{stim} = \frac{A_{21}c^3\rho_\nu l(\nu)N_2}{8\pi n_r^3 h\nu^3} \quad (2.7)$$

ây ρ_ν là m t n ng l ng (J/m^3) c a tr ng i n t c m ng d ch chuy n và $l(\nu)$ là hàm s ng v i n ph d ch chuy n c chu n hóa sao cho :

$$\int_{-\infty}^{\infty} l(\nu) d\nu = 1 \quad (2.8)$$

$I(\nu)d\nu$ là xác su t mà m t quá trình phát x t phát nào ó t m c hai xu ng m c m t sinh ra m t photon v i t n s n m trong kho ng t v n $\nu + d\nu$. M t tr ng c m ng (W/m^2) là :

$$I_\nu = \frac{c}{n_r} \rho_\nu \quad (2.9)$$

Vì v y (2.7) tr ã thành

$$r_{21}|_{stim} = \frac{A_{21}c^2I(\nu)I_\nu N_2}{8\pi n_r^3 h\nu^3} \quad (2.10)$$

2.2.2 H p th và khu ch i

B ng cách dùng bi u th c v t c ã d ch chuy n c m ng c xây d ng trong ph n (2.2.1) bây gi chúng ta có th rút ra m t ph ã ng trình cho h s l i quang h c c a m t h hai m c. Chúng ta xét m t sóng ph ã ng truy n theo h ã ng z qua m t môi tr ã ng l i v i t i t ã n A và y u t chi u dài dz. Công su t có ích dP_ν c t o ra do m t th tích Adz c a v t l i u n gi n b ng hi u t c ã d ch chuy n c m ng gi a các m c nhâ v i n ng l ã ng d ch chuy n $h\nu$ và y u t th tích, c th là

$$dP_\nu = (r_{21}|_{stim} - r_{12})h\nu Adz \quad (2.11)$$

B c x này c thêm vào m t cách k t h p v i sóng lan truy n. Do ó quá trình khu ch i này có th c mô t b ng ph ã ng trình vi phân

$$\frac{dP_\nu(z)}{dz} = (r_{21}|_{stim} - r_{12})h\nu A = g_m(\nu)P_\nu \quad (2.12)$$

$g_m(\nu)$ là h s l i c a v t l i u c tính b ng công th c

$$g_m(\nu) = \frac{A_{21}c^2I(\nu)(N_2 - N_1)}{8\pi n_r^2 \nu^2} \quad (2.13)$$

Công th c (2.13) ngh a là t c l i d ã ng ph i có s o l n m t ($N_2 > N_1$) t n t i gi a m c hai và m c m t. V i s hi n ã n c a A_{21} nó c ng cho th y r ã ng quá trình khu ch i quang h c luôn luôn kèm theo phát x t phát, ngh a là nhi u. M t s mô t chi t i t h n v l i quang h c trong các ch t bán d n c c p ch ã ng 4.

2.2.3 Nhi u phát x t phát

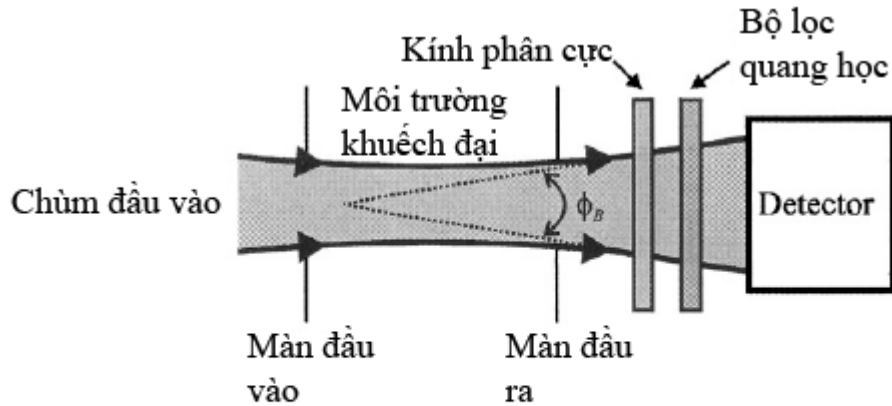
Nh ã nói trên phát x t phát là h qu tr c t i p c a quá trình khu ch i. Trong ph n này chúng ta s rút ra m t bi u th c v công su t nhi u c t o ra b i m t b khu ch i quang h c. Chúng ta xét b trí thí nghi m trong hình 2.4 [3], nó cho th y tín hi u n s c u vào có t n s v truy n qua môi tr ã ng l i có c u trúc m c n ng l ã ng nh hình 2.3. M t kính phân c c và m t b l c quang h c v i b ã ng thông B_0 c t p trung xung quanh v c t tr c m t detector. Chùm u vào c t l i sao

cho các đặc tính môi trường là n_r . Nếu chùm có tiết diện tròn với đường kính của chùm là D thì góc phân kỳ của chùm là

$$\phi_B = \frac{4\lambda_0}{\pi D n_r} \quad (2.14)$$

ở đây λ_0 là bước sóng trong không gian tự do. Sự thay đổi toàn phần trong công suất tín hiệu do sự khuếch đại kết hợp bị mất mát chi tiết của môi trường là

$$dP_v = g_m(v) P_v dz \quad (2.15)$$



Hình 2.4. Bộ khuếch đại quang học bao gồm một môi trường độ lợi nằm giữa hai màn. Chùm tín hiệu được tiêu vì vậy cửa của nó trùng với màn đầu vào.

Mất mát tích lũy tiết diện mặt cắt là A và chi tiết dz tại vị trí z của môi trường là phát xạ phát công suất P thì

$$dP_N = A_{21} N_2 h\nu A dz \quad (2.16)$$

Nhiệm vụ của phát xạ cách ngẫu nhiên qua mặt góc 4π . Mỗi photon được phát xạ cách phát xạ tại vị trí xác suất bằng nhau trong hai trạng thái phân cực vuông góc với nhau. Các kính phân cực cho tín hiệu đi qua, cùng với giảm nhiễu mất mát. Vì thế công suất nhiễu toàn phần được phát ra qua mặt yếu tích vào góc $d\Omega$ và bằng B_0 là

$$dP_N = \frac{A_{21} N_2 h\nu l(v) B_0}{2} \frac{d\Omega A dz}{4\pi} \quad (2.17)$$

Góc $d\Omega$ nhỏ nhất có thể có dùng mà không có mất mát công suất tín hiệu là

$$d\Omega_{\min} = \frac{\pi \phi_B^2}{4} = \frac{\lambda_0^2}{n_r^2 A} \quad (2.18)$$

Góc $d\Omega$ này có thể thu được bằng cách dùng khe hở phù hợp thích hợp. Trong trường hợp này, biểu thức (2.17) có thể viết lại là

$$dP_N = \frac{N_2}{N_2 - N_1} g_m(v) h\nu B_0 dz \quad (2.19)$$

Do ó, công su t chùm toàn ph n P (tín hi u và nhi u) c mô t b ng

$$\frac{dP(z)}{dz} = g_m(v)P(z) + n_{sp} g_m(v) h\nu B_0 \quad (2.20)$$

ây h s phát x t phát n_{sp} là

$$n_{sp} = \frac{N_2}{N_2 - N_1} \quad (2.21)$$

Gi s r ng g_m không ph thu c vào z , nghi m c a (2.20) là

$$P(z) = P_{in} e^{g_m z} + n_{sp} h\nu B_0 (e^{g_m z} - 1) \quad (2.22)$$

ây P_{in} là công su t tín hi u u vào. N u môi tr ãng khu ch i có chi u dài L thì công su t u ra toàn ph n là

$$P_{out} = GP_{in} + n_{sp} (G - 1) h\nu B_0 \quad (2.23)$$

ây $G = e^{g_m L}$ là l i tín hi u m t l n truy n qua. Công su t nhi u c ng c a b khu ch i là

$$P_{N,out} = n_{sp} (G - 1) h\nu B_0 \quad (2.24)$$

Bi u th c (2.24) cho th y s gia t ng m c o l n m t có th làm gi m nhi u trong SOA. Nhi u c ng có th c làm gi m b ng cách dùng m t b l c quang h c b ng h p .

2.3 C B N V C TÍNH THỊ T B

ng đ ng ph bi n nh t c a SOA là kh i khu ch i quang h c c b n . i v i m t ng đ ng nh th , m t danh sách các tính ch t áng quan tâm c li t kê trong b ng 2.1. M c tiêu c a nghi ên c u và thi t k SOA là a các tính ch t này vào trong các thi t b th c t .

Bảng 2.1 Tính chất đáng quan tâm của SOA thực tế

Tính chất
Độ lợi và băng thông độ lợi cao
Phản xạ bề mặt không đáng kể
Độ nhạy phân cực thấp
Công suất đầu ra bão hòa cao
Nhiều cộng gần giới hạn lí thuyết
Không nhạy với các tính chất điều biến tín hiệu đầu vào
Khuếch đại đa kênh mà không có sự xen nhau
Không có miền phi tuyến

2.3.1 l i tín hi u nh và b ng thông l i

Nói chung có hai nh ngh a v l i c b n cho các SOA . u tiên là l i riêng c a SOA nó n gi n là t s công su t u vào t i m t u vào v i công su t tín hi u m t u ra . nh ngh a th hai là l i s i-n-s i , nó bao g m các m t mát ghép u vào và u ra . Nh ng l i này

th ng c bi u di n theo dB . Ph l i c a SOA c th nào ó ph thu c vào c u trúc , v t li u và tham s ho t ng c a nó . i v i a s các ng d ng, l i cao và b ng thông l i r ng là áng quan tâm. l i riêng tín hi u nh (nh ây ngh a là tín hi u có s nh h ng lên h s l i SOA có th b qua) c a SOA Fabry-Prot t i t n s quang h c v là [5],

$$G(v) = \frac{(1-R_1)(1-R_2)G_s}{(1-\sqrt{R_1R_2}G_s)^2 + 4\sqrt{R_1R_2}G_s \sin^2[\pi(v-v_0)/\Delta v]} \quad (2.25)$$

ây R_1 và R_2 là các h s ph n x m t u vào và u ra và Δv là kho ng cách gi a các mode d c c a bu ng c ng h ng c cho b i công th c

$$\Delta v = \frac{c}{2Ln_r} \quad (2.26)$$

v_0 là t n s c ng h ng g n nh t v i v . Các t n s c ng h ng c a bu ng c ng h ng xu t hi n t i các giá tr b ng m t s nguyên l n Δv . Y u t \sin^2 trong công th c (2.25) b ng không t i các t n s c ng h ng và b ng m t t i các t n s ph n c ng h ng (nó n m gi a các t n s c ng h ng liên ti p nhau) . H s l i SOA hi u d ng là

$$g = \Gamma g_m - \alpha \quad (2.27)$$

ây Γ là h s giam c m mode quang h c (ph n c a mode tr ng tín hi u truy n b giam c m trong vùng ho t tính) và α là h s h p th . $G_s = e^{gL}$ là l i khu ch i m t l n truy n qua .

M t SOA không c bao ph có s ph n x b m t g n b ng 0.32 . R ng c a l i c a b khu ch i G_r c nh ngh a b ng t s gi a các l i c ng h ng và không c ng h ng . T (2.25), chúng ta có

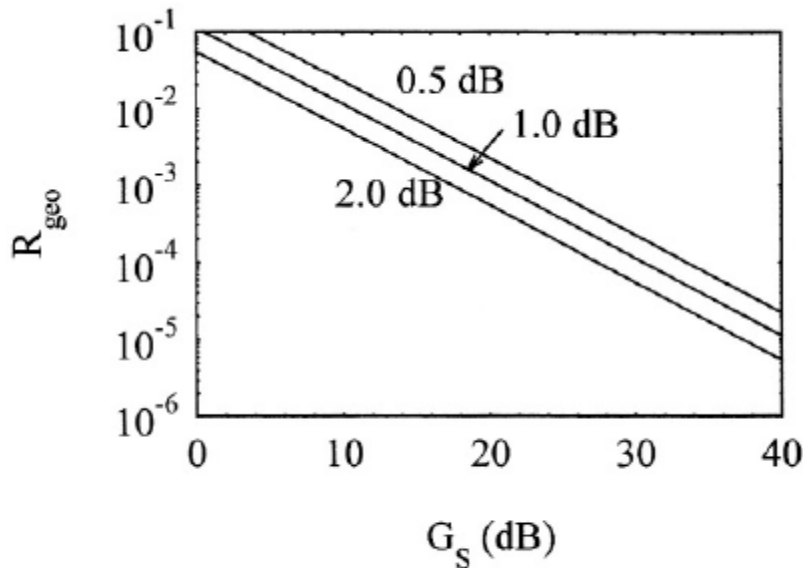
$$G_r = \left[\frac{1 + \sqrt{R_1R_2}G_s}{1 - \sqrt{R_1R_2}G_s} \right] \quad (2.28)$$

T (2.28) m i quan h gi a h s ph n x b m t trung bình hình h c $R_{geo} = \sqrt{R_1R_2}$ và G_r là

$$R_{geo} = \frac{1}{G_s} \left[\frac{G_r - 1}{G_r + 1} \right] \quad (2.29)$$

th R_{geo} theo G_s c bi u di n trong hình 2.5 v i G_r là m t tham s . Ch ng h n , thu c r ng c a l i nh h n 1dB t i l i m t l n truy n qua 25dB thì $R_{geo} < 3.6 \cdot 10^{-4}$. Ph n x b m t vào c này có th t c b ng cách s d ng các l p ph ch ng ph n x cho các b m t c a b khu ch i . S ph n x b m t có th gi m h n n a b ng cách dùng các c u trúc SOA chuyên d ng . Nh ng k thu t này c th o l u n trong ch ng 3 .

Ph l i tín hi u nh TW – SOA i n hình c bi u di n trong hình 2.2. B ng thông l i B_{opt} c a b khu ch i c nh ngh a là kho ng b c sóng mà trên ó l i tín hi u không nh h n m t ph n hai giá tr nh c a nó. Các SOA b ng thông l i r ng c bi th u đ ng trong các h th ng mà ó c n khu ch i a kênh ch ng h n nh trong các m ng WDM. B ng thông l i r ng có th t c trong m t SOA v i vùng ho t tính c ch t o t các v t li u gi ng l ng t ho c các v t li u a gi ng l ng t (MQW) c th o lu n trong ch ng 4. Các l i riêng c c i i n hình t c trong các thi t b th c t n m trong kho ng t 30 n 35dB. B ng thông l i tín hi u nh thông th ng n m trong kho ng 30 n 60nm.



Hình 2.5 Hệ số phản xạ bề mặt trung bình hình học, được tính dùng (2.29), theo độ lợi một lần truyền qua với rãng cửa độ lợi như tham số.

2.3.2. nh y phân c c

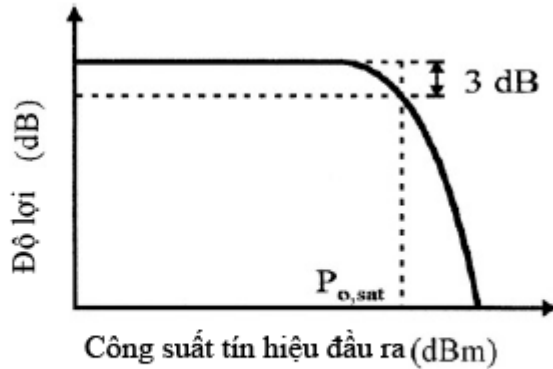
Nói chung, l i c a m t SOA ph thu c vào tr ng thái phân c c c a tín hi u u vào. S ph thu c này là do m t s y u t , bao g m: C u trúc ng d n sóng, b n ch t c a các l p ph ch ng ph n x và v t li u l i. Các SOA x p t ng làm n i b t s ph thu c phân c c này. ng d n sóng c a b khu ch i c c tr ng b i hai mode phân c c vuông góc nhau c g i là các mode i n ngang (TE) và mode t ngang (TM). Tr ng thái phân c c tín hi u u vào th ng n m âu ó gi a hai c c tr này. nh y phân c c c a m t SOA c nh ngh a là l n c a s chênh l ch gi a l i mode TE, G_{TE} và l i mode TM, G_{TM} , ngh a là

$$G_{TE/TM} = |G_{TE} - G_{TM}| (dB) \quad (2.30)$$

Các kỹ thuật cho các SOA thích hợp vì hiệu suất phân cực thấp (nhỏ hơn 1dB) có thể có lợi trong chương 3.

2.3.3. Bảo hòa lợi ích tín hiệu

Lưu ý rằng SOA bị ảnh hưởng bởi công suất tín hiệu đầu vào và nhiễu bên trong có thể xảy ra do quá trình khuếch đại. Khi công suất tín hiệu tăng, các hạt tải điện trong vùng hoạt động trở nên ít di động hơn vì mật độ hạt tải điện tăng. Sự bảo hòa lợi ích này có thể gây ra biến dạng tín hiệu đáng kể. Nó cũng có thể gây ra hiện tượng tắt nghẽn khi các SOA được dùng làm các bộ khuếch đại kênh. Các tuyến lợi ích SOA thông thường theo công suất tín hiệu đầu ra được biểu diễn trong hình 2.6. Mật độ tham số hiệu dụng của hiệu suất bảo hòa lợi ích là công suất đầu ra bảo hòa $P_{o,sat}$, nó cũng phản ánh công suất tín hiệu đầu ra của bộ khuếch đại mà tại đó lợi ích khuếch đại bằng một nửa lợi ích tín hiệu ban đầu. Các kỹ thuật cho các SOA thích hợp vì $P_{o,sat}$ cao sẽ có thể có lợi trong chương 3. Giá trị trong khoảng từ 5 đến 20dBm của $P_{o,sat}$ là điển hình trong các thiết bị thực tế.



Hình 2.6 Đặc tuyến độ lợi điển hình của SOA theo công suất tín hiệu đầu ra

2.3.4. Hiệu suất phân cực

Mật độ tham số hiệu dụng cho hiệu suất phân cực của hiệu suất trong bộ khuếch đại quang học là hiệu suất phân cực F , bằng tổng số các tín hiệu đầu vào và đầu ra vì các tham số hiệu dụng là

$$F = \frac{(S/N)_i}{(S/N)_o} \quad (2.31)$$

Tín hi u trên các t s nhi u trong (2.31) là i l ng thu c khi công su t u vào và u ra c a b khu ch i c phát hi n b i m t photodetector lý t ng. Bi u th c y cho tín hi u dòng quang i n trên t s nhi u trong các b khu ch i quang h c c rút ra trong ch ng 6.

Trong tr ng h p gi i h n mà ó l i b khu ch i l n h n nhi u so v i m t và u ra b khu ch i c cho qua m t b l c quang l c b ng h p, h s t p nhi u là

$$F = 2n_{sp} \quad (2.32)$$

Giá tr th p nh t có th có c a n_{sp} là 1, nó xu t hi n khi có s o l n hoàn toàn môi tr ng nguyên t , ngh a là $N_1=0$ thì $F = 2$ (t ng ng v i 3dB).

H s t p nhi u i n hình (ngh a là không bao g m m t mát do ghép) c a các SOA th c t th ng n m trong kho ng t 7 n 12dB. H s t p nhi u b suy hao b i m t mát ghép u vào c a b khu ch i. M t mát do ghép n i th ng vào kho ng 3dB, vì v y ch s nhi u c a các SOA c óng gói i n hình n m trong kho ng t 10 n 15dB.

2.3.5. Các hi u ng ng l c h c

Thông th ng SOA c dùng khu ch i các tín hi u ánh sáng i u bi n. N u công su t tín hi u cao thì s bão hòa l i s xu t hi n. ây không ph i là m t v n nghiêm tr ng n u ng l c h c l i c a b khu ch i là m t quá trình ch m. Tuy nhiên, trong các SOA, ng l c h c l i c xác nh b i th i gian tái k th p c a các h t t i i n (th i gian trung bình cho m t h t t i i n tái k th p v i m t l tr ng trong vùng hóa tr). Th i gian s ng này i n hình là kho ng vài tr m (ps). i u này có ngh a là l i b khu ch i s ph n ng m t cách t ng i nhanh v i s thay i c a công su t tín hi u u vào. Các l i ng này có th gây ra s bi n d ng tín hi u, nó s tr nên nghiêm tr ng h n khi b ng thông tín hi u c i u bi n gi m. Nh ng hi u ng này s c làm t ng thêm n a trong các h th ng a kênh trong ó l i ng s d n n nhi u xuyên kênh. i u này trái ng c v i các b khu ch i s i pha t p. Nó có th i gian tái k th p vào kho ng (1ms) d n n s bi n d ng tín hi u không áng k . Các hi u ng ng l c h c s c kh o sát thêm n a trong ch ng 5.

2.3.6. S phi tuy n

Các SOA c ng th hi n các tính ch t phi tuy n nói chung. Nh ng s phi tuy n này có th gây ra nh ng v n ch ng h n nh s d ch chuy n t n s và t o ra nhi u xuyên i u ch b c 2 ho c b c 3. Tuy nhiên, s phi tuy n có th h u d ng trong v i c dùng các SOA v i vai trò là các thi t b ch c n ng ch ng h n nh b chuy n i b c sóng. S phi tuy n c a SOA c th o lu n chi ti t h n trong ch ng 7.

Chương 3: CẤU TRÚC

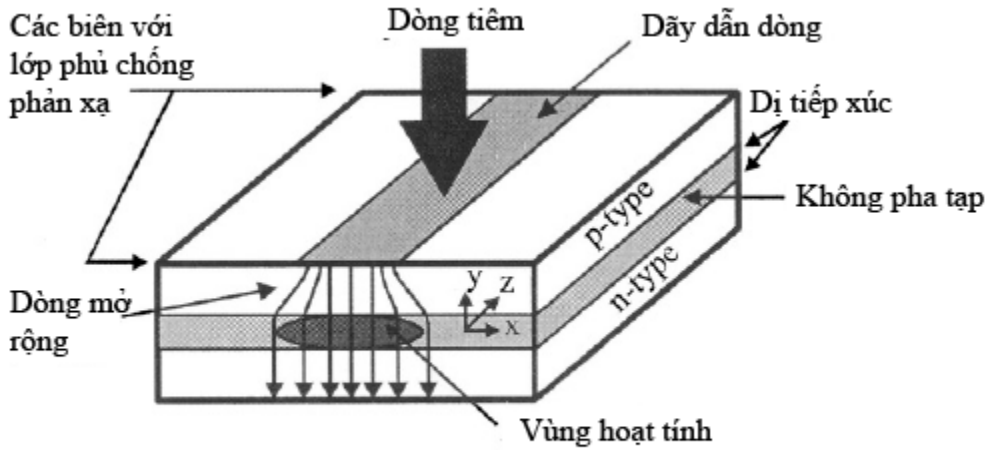
Thiết kế cấu trúc của một SOA có mối liên quan lớn nhất đến hiệu suất của nó. Vì vậy, các cấu trúc SOA được chọn cho một thiết bị cho trước sao cho tối ưu về mặt các tính chất lý thuyết được liệt kê trong bảng 2.1 hoặc làm nổi bật một tính năng quan tâm nào đó của một ứng dụng cụ thể (nghĩa là công suất đầu ra bão hòa cao cho các ứng dụng tín hiệu). Trong chương này, các nguyên lý cơ bản về thiết kế SOA được trình bày.

3.1. CẤU TRÚC CÁC BÊN CỦA SOA

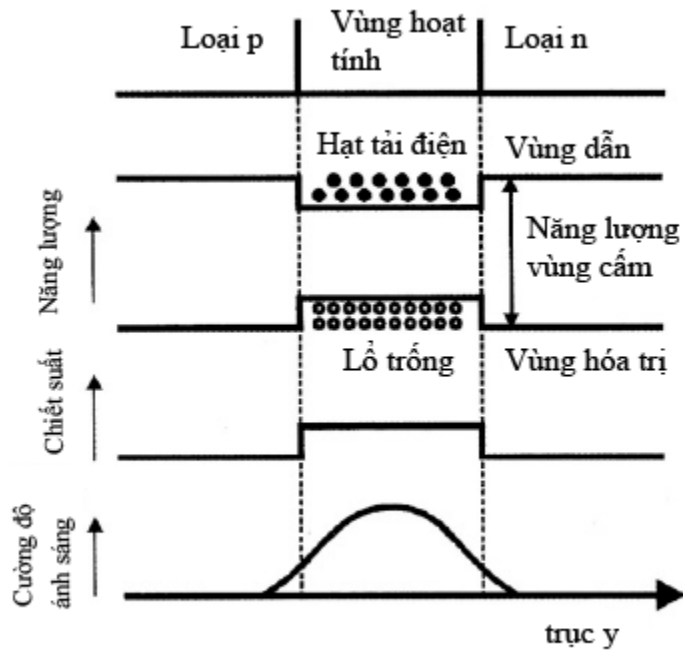
Trong những ngày đầu tiên nghiên cứu SOA, những cấu trúc của chúng được dựa trên các diode laser bán dẫn dị tiếp xúc kép được bao phủ các lớp chống phản xạ được biểu diễn trong hình 3.1. Trong loại cấu trúc này vùng hoạt tính (thường là tinh thể, nghĩa là không pha tạp) được kẹp giữa các vùng bao bọc lõi n và lõi p. Những điện tiếp xúc giữa các vùng hoạt tính và vùng bao bọc là dị tiếp xúc được biểu diễn trong hình 3.2. Điện tiếp xúc là một mặt phân cách giữa hai vật liệu bán dẫn có nồng độ doping khác nhau. Các vùng bao phủ có nồng độ doping vùng con cao hơn và chỉ tiếp xúc một phần so với vùng hoạt tính.

Các hạt tải được tiêm vào trong vùng hoạt tính của thiết bị từ một dòng phân cực được đưa vào. Các hạt tải được tiêm phải ở trạng thái kích thích qua các lớp xung quanh của bán dẫn trước khi chúng đến vùng hoạt tính. Nếu không có sự giam cầm hạt tải, các hạt tải sẽ khuếch tán

ra toàn thị trường. Khi vùng hoạt tính tăng lên, hiệu suất này có nghĩa là cuối cùng chúng ta phải phân tích các hiệu ứng của các hạt tải điện tiêm cung cấp cho mô hình hiệu suất ánh sáng lan truyền. Hiệu suất này dựa trên hiệu suất hoạt động không hiệu quả. Khi phân tích các hiệu ứng này, sự giảm của các hạt tải điện vào vùng hoạt tính là cần thiết. Trong cấu trúc điển hình của SOA, hiệu suất tiêm qua sự chênh lệch năng lượng vùng con giữa các vùng hoạt tính và vùng bao phủ. Nó giảm của các hạt tải điện vào vùng giữa các hàng rào.



Hình 3.1. Mặt cắt ngang của SOA dị tiếp xúc kép



Hình 3.2. Hạt tải điện và sự giam cầm quang học trong một SOA

Tuy nhiên, ch i trong vùng không pha t p trung tâm m t h t t i cao truy n l i cho sóng ánh sáng lan truy n. S i giam c m các h t t i i n có m t l i ích thêm n a là thi t b có th ho t ng t i dòng phân c c th p h n do ó gi m s m t mát công su t do i n tr và c n ít các b p h n ch c n ng h n i u khi n nhi t .

Hì u su t m t SOA c c i t i n n u tín hi u ánh sáng c giam c m vào vùng ho t tính. Trong c u trúc d t i p xúc kép, vùng ho t tính có chi t su t h i cao h n vùng bao ph và nó óng vai trò nh m t ng d n sóng i n môi v i t i t di n hình ch nh t. i u này giúp giam c m ánh sáng truy n qua thi t b vào vùng ho t tính. L ng d n sóng c c tr ng b i h s giam c m quang h c Γ , c nh ngh a là ph n n ng l ng c a m t mode d n sóng nào ó c giam c m vào vùng ho t tính. Các mode là nghi m c a ph ng trình Maxwell i v i các tr ng i n và t trong ng d n sóng tuân theo các i u ki n biên c a ng d n sóng. Tính toán các mode ng d n sóng i n môi và các h s giam c m có liên quan c a chúng không ph i là m t v n t m th ng. Chi t i th n v v n này có th tìm th y trong [1-4].

N u ng d n sóng h p, nó s ch h tr m t mode ngang v i hai ch phân c c, mode i n ngang (TE) trong ó i n tr ng c phân c c d c theo m t ph ng d ti p xúc (d c theo tr c x trong hình 3.1) và mode t ngang (TM) trong ó t tr ng c phân c c d c theo tr c x. Mode là ngang b i vì các tr ng i n và t ng v i nó u vuông góc v i h ng truy n.

Ho t ng n mode ngang giúp gi m s ph thu c l i vào mode vì h s giam c m quang h c ph thu c vào mode và c ng c i ti n hi u su t ghép t thi t b n s i quang. Thi t k m t ng d n sóng ho t tính SOA h tr m t mode ngang gi ng nh thi t k laser. Ch này n m ngoài ph m vi c a sách này nh ng c c p chi ti t trong [1-4].

Trong SOA d ti p xúc kép trên có m t chi t su t xác nh nh y b c theo h ng y gi a các vùng không pha t p và vùng bao ph . Tuy nhiên theo h ng x, không có s nh y b c nh th . S d n sóng theo h ng x t c qua các h t t i i n c tiêm vào, nó làm thay i chi t su t c a vùng ho t tính. Quá trình này c g i là d n l i. S thay i chi t su t này nh h n theo h ng y. i u này có ngh a là Γ ph thu c vào s phân c c, Γ t ng khi chi u dày vùng ho t tính t ng. Tuy nhiên, n u vùng ho t tính quá r ng, ho t ng c a các mode n ngang s d ng. Biên d ng i n hình c a c ng ánh sáng qua m t c t ngang c bi u di n trong hình 3.2.

H s giam c m quang h c ph thu c vào s phân c c th ng c g i là h s giam c m quang h c TE và TM ngh a là Γ_{TE} và Γ_{TM} . Các ph ng pháp gi m nh y phân c c bao g m dùng m t ng d n sóng ch ng có ti t di n hình vuông và các siêu m ng bi n d ng (ph n 3.3).

3.2. S KH C NGH NG C A H C

Chúng ta ã th y trong ch ng 2 r ng s kh ph n x b m t trong SOA là c n thi t t c ho t ng sóng ch y trong m t OA. Có m t s ph ng pháp gi m h s ph n x b m t hi u d ng.

3.2.1. Các l p ch ng ph n x

S ph n x công su t i v i tia t i vuông góc t i m t phân cách gi a hai l p i n môi là

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (3.1)$$

ây, n_1 và n_2 là chi t su t c a các l p i n môi. Các v t li u bán d n th ng có chi t su t cao (th ng n m trong kho ng 3 và 4). Thông th ng h s ph n x b m t phân cách bán d n – không khí vào b c c 32%. Trong khi h s ph n x v i l n nh th này thích h p v i dao ng laser trong thi t b d ti p xúc kép, nó quá l n i v i TW-SOA. H s ph n x b m t hi u d ng có th gi m áng k b ng cách s d ng các l p ch ng ph n x

(AR). Nếu một sóng phẳng với bước sóng không gian λ_0 tới vuông góc với mặt phẳng tới với chiết suất n_s của môi trường không khí (chiết suất = 1) thì các điều kiện cho tới (nghĩa là hệ số phản xạ) ở vị trí mặt phẳng chế độ phản xạ có hình thành bằng mặt phẳng pin môi là:

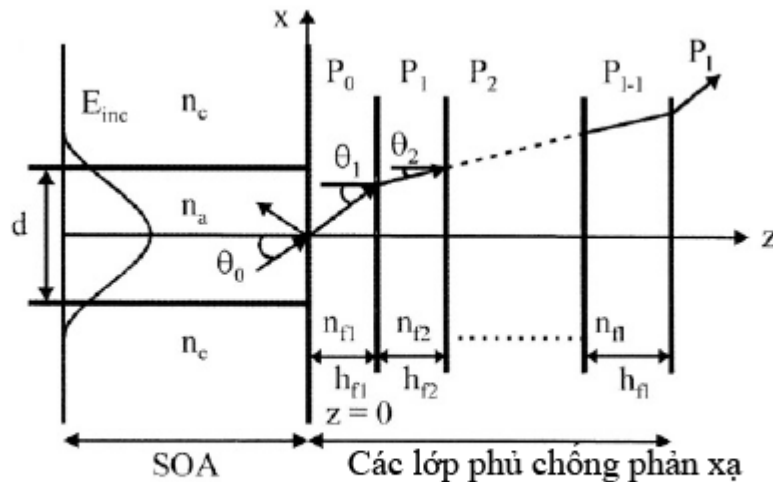
$$n_f = \sqrt{n_s}$$

$$d_f = \frac{\lambda_0}{4n_f} \quad (3.2)$$

ở đây n_f và d_f là chiết suất và độ dày của lớp chế độ phản xạ. (3.2) chỉ áp dụng cho một bước sóng cụ thể vì vậy mặt phẳng chế độ phản xạ không thích hợp cho SOA hoạt động trên một bước sóng thông thường.

Để khắc phục nhược điểm này, người ta đã đề xuất chế độ phản xạ đa lớp. Phân tích các lớp phản xạ như một phần tử và khó khăn hơn khi áp dụng cho các SOA. Điều này là do mode dẫn sóng SOA được phân bố trong các vùng hoạt tính và vùng bao phủ có chiết suất khác nhau.

Trong các phân tích tiếp theo, chúng ta sẽ theo một kỹ thuật tài liệu tham khảo [6]. Nếu sự phân bố trọng lượng là ngẫu nhiên theo hướng song song với lớp tiếp xúc giữa các lớp và các lớp chế độ phản xạ, mode dẫn sóng có thể được phân tích dùng mô hình 2 chiều như các biểu diễn trong hình 3.3.



Hình 3.3 Mô hình SOA được phủ lớp chống phản xạ đa lớp ($z < 0$, ống dẫn sóng trong SOA; $z > 0$, các lớp phủ chống phản xạ)

Trong phép phân tích này chỉ các sóng phân cực ngang (TE) được xét. Vùng hoạt tính có chiết suất n_a và chiều dày d . Các vùng bao quanh có chiết suất n_c và các giá trị m bằng nhau.

Phân bố trường $E_{inc}(x)$ tại $z=0$, tức là biên giữa vùng hoạt tính và lớp che chắn là

$$E_{inc}(x) = \begin{cases} A \cos(dh_a/2) \exp[h_c(d/2 - |x|)]; & |x| \geq d/2 \\ A \cos(h_a x); & |x| \leq d/2 \end{cases} \quad (3.3)$$

ở đây

$$\begin{aligned} h_c^2 &= \beta^2 - k_c^2 \\ h_a^2 &= k_a^2 - \beta^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Nó thỏa mãn

$$\tan(dh_a/2) = \frac{h_c}{h_a} \quad (3.5)$$

Trong đó các hằng số d và c chỉ vùng hoạt tính và các vùng bao quanh tương ứng, β là hằng số truyền, $k_a (= 2\pi n_a / \lambda_0)$ và $k_c (= 2\pi n_c / \lambda_0)$ là các số sóng và A là một hằng số tùy ý. Phân bố sóng phẳng $F_{inc}(s)$ (the wave plane angular spectrum) của trường tại $z=0$ tính bằng phép chuyển đổi Fourier của (3.3) cho ta kết quả

$$\begin{aligned} F_{inc}(s) &= F_{inc_a}(s) + F_{inc_c}(s) = A \left\{ \frac{\sin[(h_a + k_a s)d/2]}{h_a + k_a s} + \frac{\sin[(h_a - k_a s)d/2]}{h_a - k_a s} \right\} \\ &+ \frac{2A}{h_c^2 + k_c^2 s^2} \cos(dh_a/2) \{ h_c \cos(dk_c s/2) - k_c s \sin(dk_c s/2) \} \end{aligned} \quad (3.6)$$

ở đây θ_0 là góc tới và $s = \sin(\theta_0)$. F_{inc_c} và F_{inc_a} là các thành phần của F_{inc} trong các lớp hoạt tính và lớp phản xạ ngược. Hệ số phản xạ Fresnel của lớp phản xạ che chắn là:

$$r(s) = \frac{(m_{11} + m_{12} p_{l+1}) p_0 - (m_{12} + m_{22} p_{l+1})}{(m_{11} + m_{12} p_{l+1}) p_0 + (m_{12} + m_{22} p_{l+1})} \quad (3.7)$$

ở đây $p_i = n_{fi} \cos(\theta_0)$ ($i=0..l+1$) và n_{fi} là chiết suất của lớp thứ i . n_{f0} là chiết suất của vùng hoạt tính và lớp bao phủ. $m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22}$ là các yếu tố của ma trận chuyển đổi 2×2 $M (= M_1 M_2 \dots M_l)$. Các yếu tố ma trận chuyển đổi của lớp thứ i là

$$\begin{aligned} m_{11}(i) &= m_{22}(i) = \cos \gamma_i \\ m_{12}(i) &= -\frac{j}{p_i} \sin \gamma_i \\ m_{21}(i) &= -j p_i \sin \gamma_i \end{aligned} \quad (3.8)$$

V i

$$\gamma_i = \frac{2\pi n_{fi} h_{fi} \cos\theta}{\lambda_0} \quad (3.9)$$

ây $j = \sqrt{-1}$ và h_{fi} là chi u dày l p th i . Ph góc c a tr ng ph n x $F_{ref}(s)$ là

$$F_{ref}(s) = -[r_a(s)F_{inc_a}(s) + r_c(s)F_{inc_c}(s)] \quad (3.10)$$

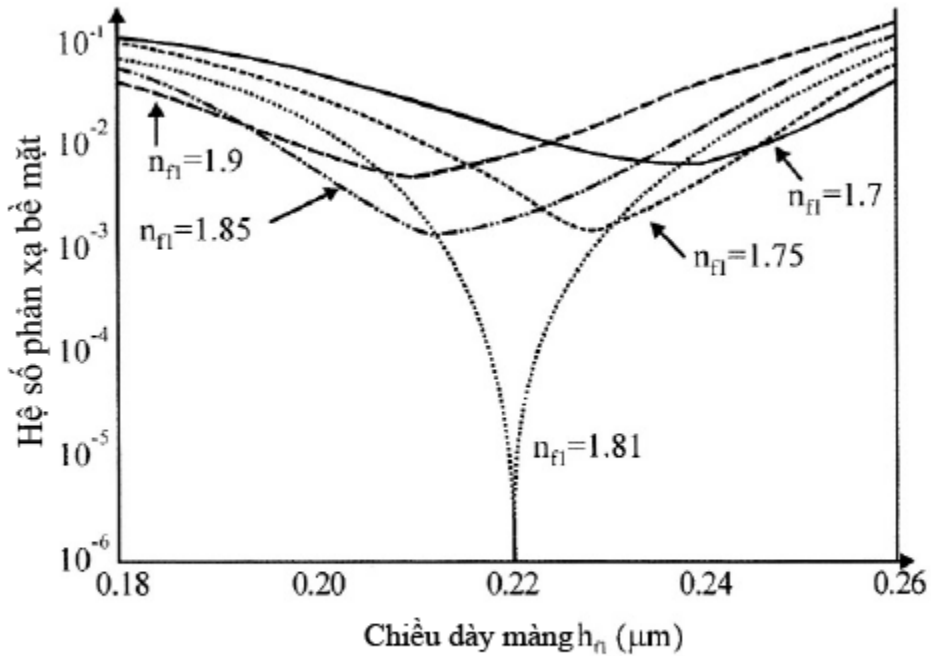
ây $r_a(s)$ và $r_c(s)$ t ng ng là các h s ph n x c a các thành ph n tr ng trong vùng ho t tính và vùng bao ph . Tr ng ph n x $E_{ref}(x)$ t i $z=0$ b ng v i chuy n i Fourier ng c c a $F_{ref}(s)$. H s ph n x R c a m t c bao ph b ng bình ph ng c a h s ghép gi a $E_{inc}(x)$ và $E_{ref}(x)$ ngh a là

$$R = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} E_{inc}(x)E_{ref}(x)dx \right|^2}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} E_{inc}(x)^2 dx \right|^2} \quad (3.11)$$

Ph ng trình này có th c gi i b ng ph ng pháp s . M t k thu t t ng t có th c áp d ng thu c h s ph n x c a mode t ngang (TM) . Ví d v v i c s d ng (3.11) cho l p ph ch ng ph n x n l p c bi u di n trong hình 3.4 .V i s k t h p thích h p gi a chi t su t c a màng và chi u dày , có th t c m t h s ph n x b m t nh h n 10^{-4} b ng cách dùng m t l p ph ch ng ph n x n l p .

Các i u ki n ph ch ng ph n x cho các ch phân c c i n ngang và t ngang không gi ng nhau . Tuy nhiên, v i c s d ng các l p ph a l p có th gi m s ph thu c phân c c và c ng m r ng các kho ng b c sóng ph n x th p [7]. Nhi u v t li u i n môi ch ng h n nh SiO₂, SiN, SiO₂-Si₃N₄ và PbO-SiO₂ có th c dùng làm các l p ch ng ph n x . Chúng c áp d ng cho m t SOA b ng cách bay h i ho c phún x . Chi t su t c a l p ph ch ng ph n x c i u khi n b i i u ki n bay h i và phún x .C ng có s n các k thu t o h s ph n x c a các l p ph ch ng ph n x [8,9] .

t c h s ph n x b m t th p dùng các l p ph ch ng ph n x thì c n ph i i u khi n c n th n chi t su t và dày các l p i n môi . S thay i c u trúc SOA có th gi m òi h i kh t khe v dung sai. Hai k thu t th ng c dùng : các b m t có góc và c u trúc c a s , nó cùng v i các l p ph ch ng ph n x có th phân ph i các h s ph n x th p tr ên m t b ng thông r ng v i nh y phân c c nh nh t.



Hình 3.4. Hệ số phản xạ bề mặt được phủ lớp chống phản xạ đơn lớp theo chiều dày màng với $n_a = 3.524$, $n_c = 3.17$, $d = 0.11 \mu\text{m}$ và $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$. Tham số là chiết suất màng.

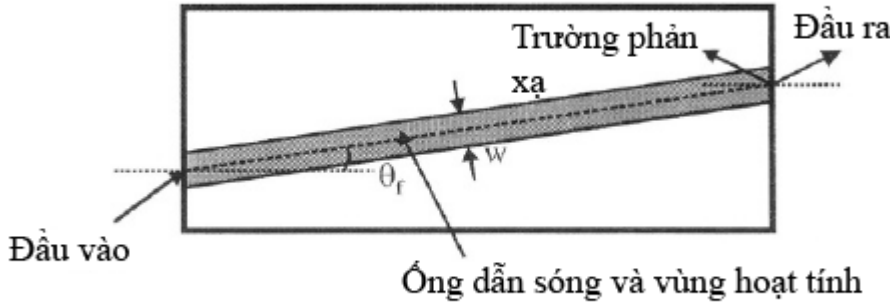
3.2.2 Cấu trúc b m t có góc

Trong m t SOA b m t có góc , nh c bi u di n trong hình 3.5 . Vùng ho t tính c làm nghiêng ra xa m t ph ng th ch b m t (the facet cleavage plane) , do ó gi m h s ph n x b m t hi u đ ng. S V c a ng đ n sóng là:

$$V = \frac{\pi w}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.12)$$

ây w là r ng ng đ n sóng và n_1 và n_2 t ng ng là chi t su t c a vùng ho t tính và vùng bao ph . r ng công su t toàn ph n mode i n ngang w_0 c cho b i công th c [10] .

$$\frac{w_0}{w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(9,2063 \cdot 10^{-3} + \frac{1,7265}{V} + \frac{0,38399}{V^3} - \frac{9,1691 \cdot 10^{-3}}{V^5} \right) \quad (3.13)$$



Hình 3.5. Nhìn từ trên của SOA bề mặt có góc

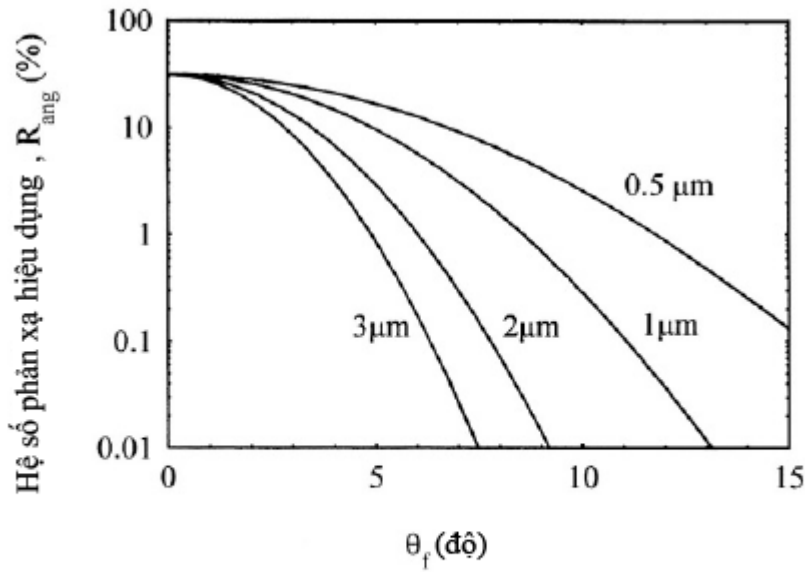
Nếu mode tiến ngang có phân bố Gauss, hệ số phản xạ hiệu dụng của bộ ghép góc có tính gần đúng là

$$R_{\text{avg}}(\theta) = R_f(\theta) \exp\left[-\left(\frac{2\pi n_2 w \sin \theta}{\lambda_0}\right)^2\right] \quad (3.14)$$

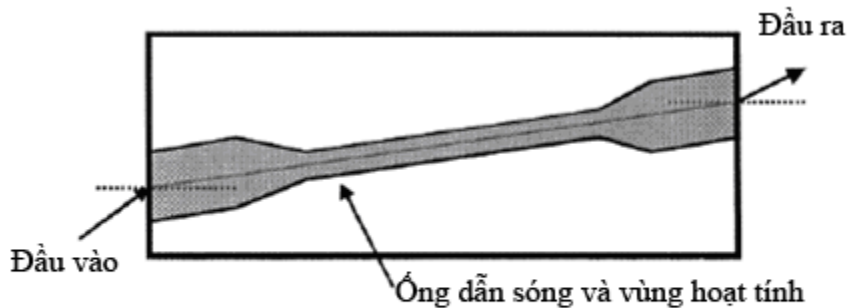
ở đây θ là góc giữa trục của chùm và pháp tuyến vị trí của bộ ghép Fresnel R_f của mặt sóng phẳng tiến ngang, w là chiều rộng của sóng tới tiếp xúc bộ ghép góc – không khí là

$$R_f(\theta) = \frac{n_1 \cos \theta - \sqrt{1 - n_1^2 \sin^2 \theta}}{n_1 \cos \theta + \sqrt{1 - n_1^2 \sin^2 \theta}} \quad (3.15)$$

Hệ số phản xạ hiệu dụng của mode tiến ngang gần như tỷ lệ với hệ số phản xạ hiệu dụng của lớp tiến ngang. Hệ số phản xạ hiệu dụng của bộ ghép góc trong hình 3.6 như một hàm theo góc bộ ghép và chiều rộng vùng hoạt tính. Hệ số phản xạ tiến giảm khi góc bộ ghép tăng. Tuy nhiên hệ số ghép giữa SOA và sợi quang giảm xuống theo góc bộ ghép do có sự không đối xứng xa (far-field asymmetry). Các lớp phản xạ ngược lại như phân bố các chế độ khi góc bộ ghép tăng. Hệ số phản xạ tiến giảm khi chiều rộng của sóng tới tăng. Tuy nhiên, nếu chiều rộng của sóng quá rộng các mode ngang bậc cao hơn có thể xuất hiện. Vấn đề này có thể khắc phục bằng cách mở rộng chiều rộng của sóng gần các mặt cuối như được biểu diễn trong hình 3.7. Điều này cũng duy trì hiệu suất của mode ngang [11]. Các góc bộ ghép từ 1 đến 10 độ. Việc phân tích chi tiết hơn về các bộ ghép góc có thể tìm thấy trong các tài liệu tham khảo [12-13].



Hình 3.6 Hệ số phản xạ hiệu dụng của bề mặt có góc như một hàm theo góc bề mặt với độ rộng ống dẫn sóng như tham số. Các tham số khác được dùng là $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$, $n_1 = 3.524$ và $n_2 = 3.169$.

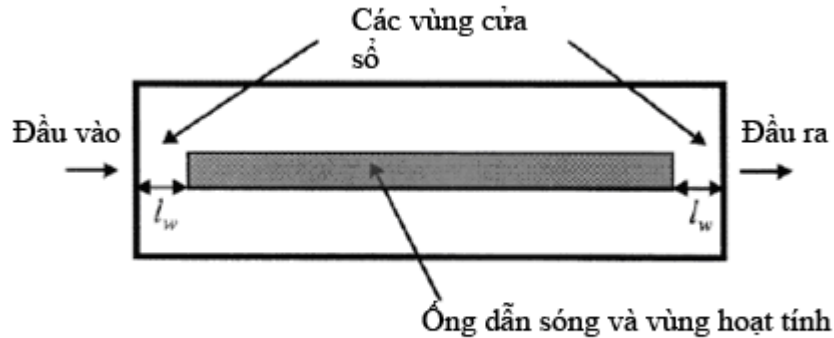


Hình 3.7. Hình chiếu từ trên của một SOA ống dẫn sóng bị lọc bề mặt có góc.

3.2.3 Cấu trúc bộ m t c a s

Như đã nói trên, hệ số phản xạ bộ m t và các hiệu ứng nhiễu xạ phản xạ tới phụ thuộc vào sự phân cực. Hệ số phản xạ bộ m t hiện đang có thể gì thêm nữa và các làm cho ít nhiễu xạ phân cực bằng cách dùng các bộ m t (hoặc bộ chôn vùi) như các bộ di chuyển trong hình 3.8 [14-15]. Cấu trúc này nên gì n bao gồm m t vùng trong suốt gì a vùng hoạt tính và các m t cụ thể. Vùng trong suốt này có r ng vùng c m l n h n n ng l ng photon tín hiệu. Hiệu ứng này có nghĩa là sự hấp thụ m ng không thể xảy ra m c dù m t s s h p th v t li u riêng s có m t. Tr ng c d n h ng t ng d n sóng truyền vào trong vùng c a s t i

m t góc nào ó do nhi u x và b ph n x m t ph n t i m t cu i . Tr ãng c ph n x t i p t c c m r ãng trong không gian vì v y ch m t ph n nh c ghép l i trong vùng ho t tính . S ph n x hi u d ãng gi m khi t ãng chi u dài l_w c a vùng c a s . Tuy nhiên, hi u su t ghép t SOA ãn s i quang b suy hao khi l_w dài . H s ph n x b m t hi u d ãng c a các m t c a s có th t ãn b c l ãn 5% . c ãng cùng v i các l p ph ch ãng ph n x ãn l p có th t c h s ph n x b m t nh h ãn 10^{-5} .



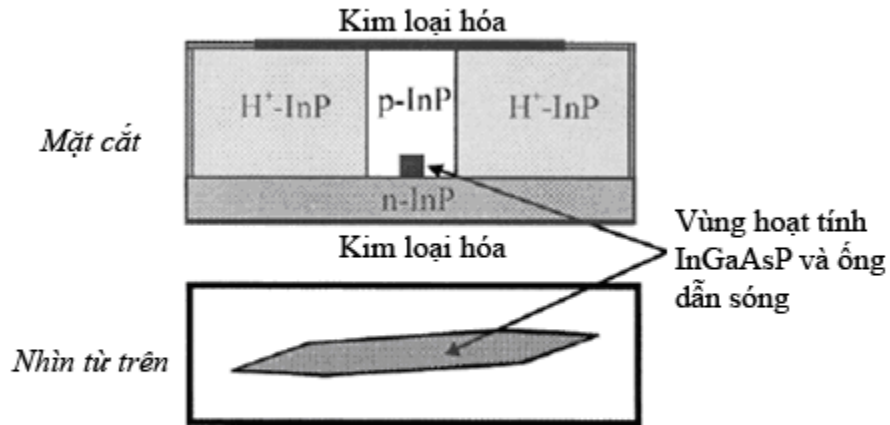
Hình 3.8. Hình chiếu từ trên của SOA với các mặt cửa sổ

3.3 CÁC C U TRÚC KHÔNG NH Y V I S PHÂN C C

Các SOA không nh y v i s phân c c r t áng quan tâm b i vì tr ãng thái phân c c c a tín hi u u vào có th thay i theo th i gian . Nguyên nhân c a s nh y phân c c là do s khác nhau gi a Γ_{TE} và Γ_{TM} . Các thi t k c u trúc SOA không nh y phân c c h tr gi m ho c bù vào s chênh l ch này. ãnh ãng giai o ãn u c a quá trình phát tri ãn SOA, các thi t k lai hóa s d ãng hai ho c nhi u SOA c ãng gi m nh y phân c c . Hi ãn nay ãnh ãng k thu t này c thay th b i ãnh ãng ph ãng pháp chip ãn ch y u t p trung vào v i c c i t i ãn thi t k vùng ho t tính . Ba k thu t ph b i ãn c ãng là ãng d ãn sóng t i t ãn hình vuông, ãng d ãn sóng nh và v t li u siêu m ãng l p b i ãn d ãng .

3.3.1 Các SOA v i ãng d ãn sóng tích c c t i t ãn hình vuông

S ãm ãng ãng nhau gi a Γ_{TE} và Γ_{TM} có th t c b ãng cách ãng ãng d ãn sóng t i t ãn vuông nh c b i u ãn trong thi t b ãng ãng nh b chôn vùi (the buried ridge strip device) c a hình 3.9 . Trong thi t b ãng này, hàng rào th c a l p ãng t i p xúc InP lo i ãn / lo i p l ãn h ãng rào c a l p d th t i p xúc vùng ho t tính InGaAsP/ InP lo i ãn . i u này có ãng ã là có s r ãr h t t i i ãn r t ít t vùng ho t tính . S ãng ãm c m các h t t i i ãn này c c i t i ãn ãng ãng cách ãng ãng ãng vùng InP c c y proton i ãn tr cao .

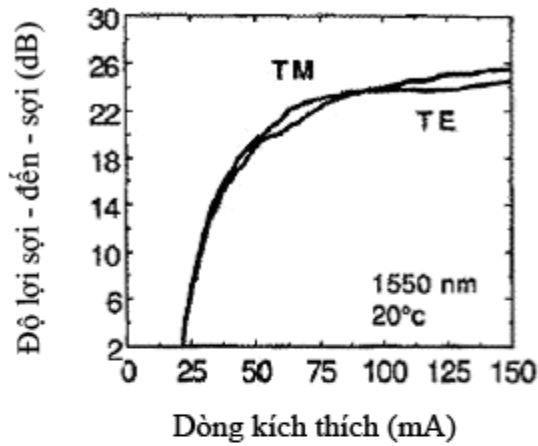


Hình 3.9 Mặt cắt và hình chiếu từ trên của SOA dây đỉnh bị chôn vùi với sự thon dài ở cuối và các vùng cửa sổ. Ống dẫn sóng ở giữa có tiết diện hình vuông với các cạnh chiều dài 0.4 micromet.

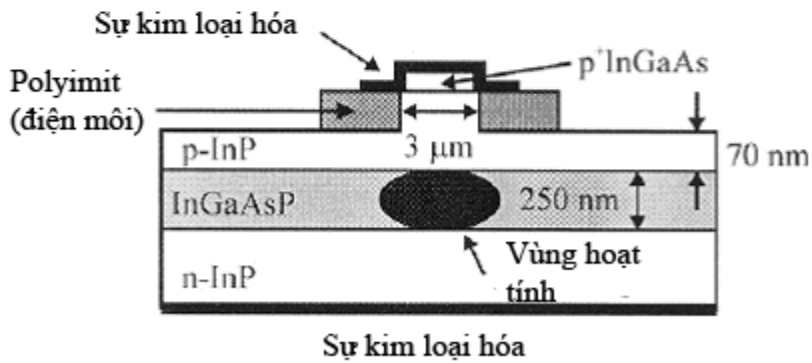
Tuy nhiên, nh ng c u trúc nh th th hi n s phân kì tr ng xa r ng (far – field divergence), nó d n n vi c làm nghèo hi u su t ghép t SOA t i s i quang. S vu t ng d n sóng tích c c g n các b m t b khu ch i c bi u di n trong hình 3.9 có th gi m s phân kì tr ng xa [16,18-19]. Các mode d n h ng c giam c m m nh trong các ng d n sóng ph n ti t di n hình vuông trung tâm, nh ng nó ch u giam c m ít h n trong vùng b vu t và vì v y m r ng. i u này t ng kích th c mode u ra và gi m s phân kì tr ng xa, do ó t ng hi u su t ghép. Thi t b c ng bao g m các vùng c a s gi m h s ph n x b m t hi u d ng. V i lo i thi t b này có th t c nh y phân c c nh h n 1dB trên m t kho ng r ng c a dòng phân c c nh c bi u di n trong hình 3.10 [18].

3.3.2 ng d n sóng nh SOA

SOA ng d n sóng nh chôn vùi nh c bi u di n trong hình 3.11, có m t vùng ho t tính t ng i r ng v i d ng hình h c bi n i làm cho Γ_{TE} và Γ_{TM} b ng nhau [20]. Vùng ho t tính th tích t ng i l n và c u trúc ng d n sóng nh cho phép h s ph n x mode r t th p i v i c các m t c ph l p ch ng ph n x và các m t nghiêng mà không òi h i các vùng c a s .



Hình 3.10. Độ lợi sợi - đến - sợi của chế độ phân cực TE và TM theo dòng phân cực của SOA bị vuốt tại bước sóng 1550 nm.



Hình 3.11. Tiết diện SOA ống dẫn sóng đỉnh khối

3.3.3 Các cấu trúc dựa trên siêu mạng l p b i n d n g

N u v t l i u k h i c ù n g t r o n g v ù n g h o t t í n h c a m t S O A , t h a m s ù y n h t c ó t h t h a y i c t c h o t n g k h o n g n h y v i s p h a n c c l à h s g i a m c m q u a n g h c b n g c á c h ù n g h o c n g d n s ó n g t í c c c t i t d i n v u o n g h o c c u t r ú c n g d n s ó n g n h .

M t b i n p h á p k h á c l à g i c h o h ì n h d n g n g d n s ó n g b ì n h t h n g (n g h a l à t i t d i n n g a n g h ì n h c h n h t) v à ù n g c á c v t l i u b i n d n g t r o n g v ù n g h o t t í n h t n g h s l i m o d e t n g a n g (T M) i v i l i m o d e i n n g a n g v à d o ó b ù c h o v i c $\Gamma_{TE} > \Gamma_{TM}$. S g i m n h y p h a n c c ã c b á o c á o t c á c c u t r ú c t h i t b v i c á c h à n g r à o b k é o b i n d n g (s t r a i n e d t e n s i l e b a r r i e r) [2 1] , c á c g i n g l n g t b i n d n g k é o (t e n s i l e

strained quantum-wells) [22], các gi ng l ng t b bi n d ng nén và kéo tu n t (alternating tensile and compressive strained quantum-wells) [23] và các siêu m ng cân b ng bi n d ng (strain-balanced superlattice) [24]. S ti n b c a c u trúc sau là nó cho phép i u khi n ng th i s nh y phân c c và l i c a thi t b mà không áp t các gi i h n v dày c a các vùng ho t tính. Tính ch t c a gi ng l ng t c c p chi t i t trong ch ng 4. Dùng nh ng k thu t trên có th t c nh y phân c c th p trên dòng phân c c và kho ng b c sóng r ng cùng v i thu n l i n a là công su t bão hòa u ra cao.

3.4 C U TRÚC CÔNG SU T U RA BẢO HÒA CAO

Công su t u ra bão hòa cao là m t c tính áng quan tâm c a SOA c bi t i v i các b khu ch i công su t và các ng d ng a kênh.

3.4.1 Mô hình c b n tiên oán tính ch t bão hòa c a b khu ch i

xác nh các y u t nh h ng n l i c a b khu ch i SOA t i các công su t u vào cao, có th s d ng m t mô hình ph ng trình t c n gi n. B khu ch i c gi s là có h s ph n x b m t b ng không. H s l i c a v t li u g_m t i b c sóng tín hi u c gi s là m t hàm tuy n tính theo m t h t t i n,

$$g_m = a_1(n - n_0) \quad (3.16)$$

ây a_1 là vi phân c a g_m i v i n và ây c gi s là m t h ng s . n_0 là m t h t t i trong su t. M t h t t i tuân theo ph ng trình t c

$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{n}{\tau} - a_1(n - n_0) \frac{I_s}{h\nu} \quad (3.17)$$

S truy n c a c ng tín hi u I_s qua SOA c mô t b i ph ng trình sóng ch y

$$\frac{dI_s}{dz} = [\Gamma a_1(n - n_0) - \alpha] I_s \quad (3.18)$$

Trong (3.17) và (3.18), t là th i gian, z là h ng truy n (d c theo tr c b khu ch i), J là m t dòng vùng ho t tính, e là i n tích, d là chi u dày vùng ho t tính, τ là th i gian s ng c a h t t i i n t phát, h là h ng s planck, ν là t n s quang h c c a tín hi u và α là h s m t mát c a ng d n sóng. Trong tr ng thái xác l p, vi phân trong 3.17 b ng không. Gi i (3.17) trong tr ng h p này ta c:

$$n = \left(\frac{\tau J}{ed} \right) \left(1 + \frac{I_s}{I_{s,sat}} \right)^{-1} + \frac{n_0 I_s}{I_s + I_{s,sat}} \quad (3.19)$$

C ng bão hòa I_{sat} và công su t bão hòa P_{sat} là

$$I_{sat} = \frac{hv}{a_1 \tau}$$

$$P_{sat} = \frac{AI_{sat}}{\Gamma} \quad (3.20)$$

ây A là ti t di n vùng ho t tính . A/Γ là ti t di n mode khu ch i. Th (3.19) vào (3.18) ta c

$$\frac{dI_s}{dz} = \left(\frac{\Gamma g_0}{1 + I_s/I_{sat}} - \alpha \right) I_s \quad (3.21)$$

ây h s l i v t li u không bão hòa g_0 là

$$g_0 = a_1 \left(\frac{\tau J}{ed} - n_0 \right) \quad (3.22)$$

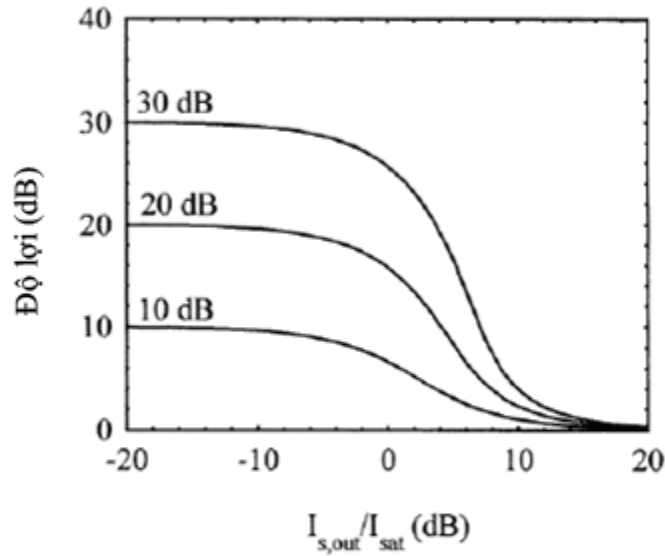
N u cho n gi n chúng ta gi s r ng $\alpha = 0$, thì (3.21) có nghi m là

$$I_{s,out} \exp\left(\frac{I_{s,out} - I_{s,in}}{I_{s,sat}} \right) = I_{s,in} \exp(\Gamma g_0 L) \quad (3.23)$$

ây $I_{s,in}$ và $I_{s,out}$ t ng ng là các c ng tín hi u u vào và u ra. H s khu ch i G là t s gi a c ng tín hi u u ra và u vào . T (3.23) chúng ta có:

$$G = G_0 \exp\left[- \frac{(G-1)I_{s,out}}{GI_{sat}} \right] \quad (3.24)$$

ây $G_0 = \exp(\Gamma g_0 L)$ là l i không bão hòa. l i khu ch i thu c t nghi m b ng s c a (3.24) c bi u di n trong hình 3.12 , nh m t hàm c a các t s $I_{s,out}$ và $I_{s,in}$ i v i các l i không bão hòa 10, 20 và 30dB .



Hình 3.12. Đặc tuyến bão hòa độ lợi của SOA thu được từ nghiệm bằng số của (3.24). Tham số là độ lợi không bão hòa

Từ (3.24) có thể đưa ra bão hòa $I_{s,out}|_{3dB}$ (tức là khi khuếch đại bắt đầu bão hòa) là

$$I_{s,out}|_{3dB} = \frac{\ln(2)G_0 I_{s,sat}}{G_0 - 2} \quad (3.25)$$

Công suất bão hòa $P_{o,sat}$ của bộ khuếch đại là

$$P_{o,sat} = \frac{AI_{s,out}|_{3dB}}{\Gamma} \quad (3.26)$$

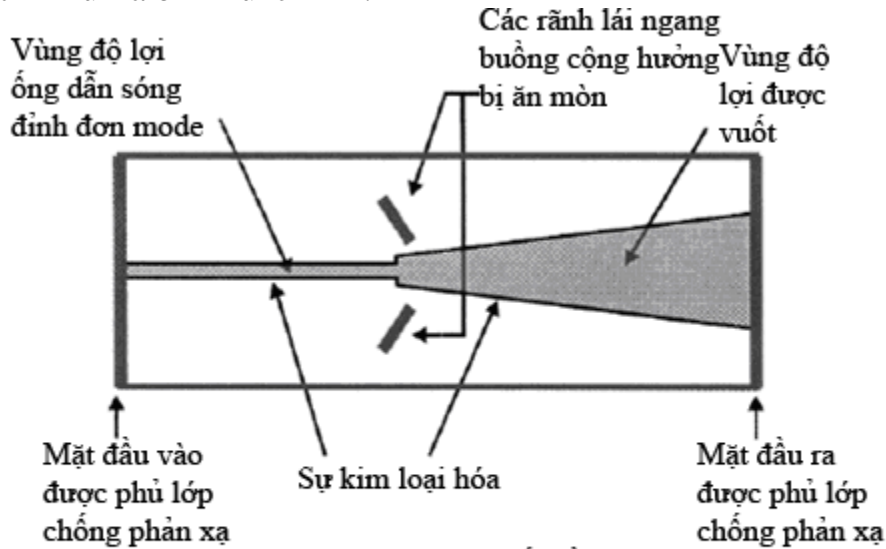
3.4.2 Các tính chất công suất bão hòa

Công thức (3.26) cho thấy rằng công suất bão hòa của một SOA phụ thuộc vào các tham số $I_{s,sat}$. Sử dụng (3.20) cho thấy rằng biểu thức này có thể được viết theo các tham số τ và a_1 . Trong thực tế, τ thường chỉ phụ thuộc vào cấu trúc vật liệu, vì vậy hoạt động của dòng phân cực cao sẽ dẫn đến sự thay đổi của $P_{o,sat}$. Tuy nhiên, khi mật độ dòng điện tăng lên thì khuếch đại sẽ ngừng làm cho các hiệu ứng ngược lại xảy ra. Giới hạn trên truyền qua có thể được duy trì bằng cách giảm Γ hoặc chiều dài của bộ khuếch đại. Có lẽ lý do này không phải lúc nào cũng cần thiết vì hầu hết các thiết bị quang học chuyển hướng ánh sáng về phía trước khi mật độ dòng điện tăng.

Vì các thiết bị quang học có thể nhận được tính bão hòa của bộ khuếch đại qua a_1 . Trong các thiết bị khi a_1 tăng thì hiệu suất

thay i c a m t h t t i i n . Trong v t li u gi ng l ng t , các i u ki n có th t n t i khi l i t ng i không nh y v i s thay i m t h t t i i n . i u này d n n $P_{o,sat}$ cao [25] .

C ng có th t ng $P_{o,sat}$ b ng cách t ng A/Γ . M t ph ng pháp d a trên khái ni m này c bi u di n trong hình 3.13, l ra ng d n sóng b khu ch i h ng v m t u ra [26-28] . i u này t ng di n tích tr ng mode t i u ra b khu ch i .



Hình 3.13. Nhìn từ trên của một SOA công suất đầu ra bão hòa cao InGaAs - InP 1.3 micromet với một vùng ống dẫn sóng đỉnh đơn mode đầu vào và phần độ lợi bị vuốt. Các tấm lái ngang buồng cộng hưởng giảm khả năng dao động.

Trong [27] thi t b bao g m ph n l i u vào ng d n sóng nh dài 1mm c theo sau b i ph n b vu t dài 2mm . Vùng ho t tính InGaAsP bao g m ba gi ng lu ng t bi n d ng nén . l i thi t b l à 30dB t i dòng kích thích 2.8A v i công su t u ra bão hòa l n h n 720mW .

S c i t i n công su t u ra bão hòa c ng có th t c b ng cách tiêm m t ánh sáng b m ch liên t c cùng v i tín hi u . Tuy nhiên, b c sóng tín hi u b m ph i c ch n sao cho nó n m b th ph n c a b ng thông l i b khu ch i . K thu t này c dùng trong [29] thu c s c i t i n 4.9dB trong công su t u ra bão hòa c a b khu ch i t i b c sóng tín hi u 1546 nm . Ánh sáng b m có b c sóng 1480 nm . K thu t này không t n kém.

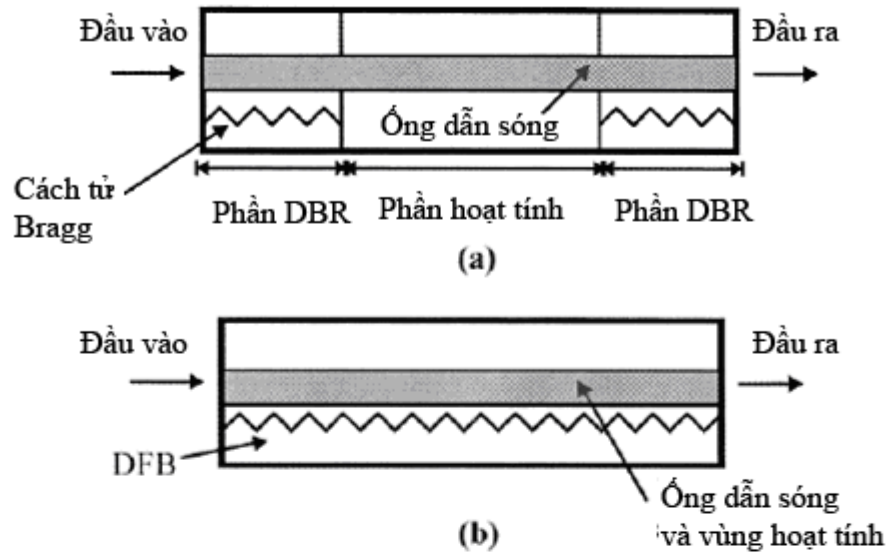
3.5 CÁC SOA K P CH T L I

Hình 3.12 cho th y s bão hòa l i c a SOA b t u t hi n ra t i công su t tín hi u u ra đ i $P_{o,sat}$. i u này có th d n n s giao ti p chéo trong các ng d ng a kênh . V n này có th c gi m i nhi u b ng cách dùng các SOA k p ch t l i (GC-SOA) [30-33] . Trong m t

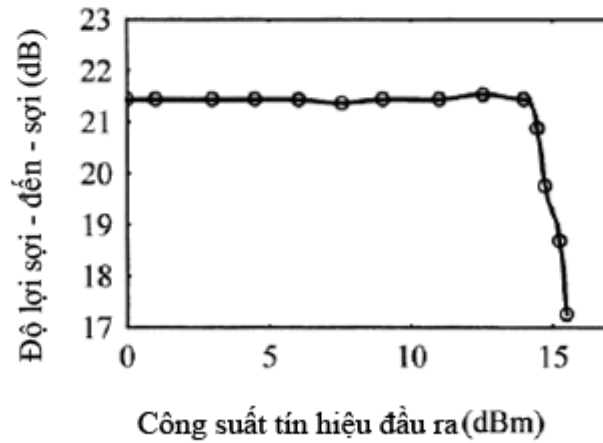
(GC-SOA), ho t ng phát laser c t o r a t i b c sóng cách xa b c sóng tín hi u, b ng cách a vào m t b ph n h i b c sóng c bi t. M t khi s phát laser b t u, m t h t t i i n b gi giá tr c nh. S thay i công su t tín hi u u vào d n n s thay i ng c l i trong công su t phát mode laser. i u này có nh h ng n vi c gi m t h t t i i n n nh (ngh a là b c nh) làm cho l i tín hi u t ng i không nh y v i s thay i c a công su t tín hi u u vào. Các ph ng pháp ph bi n cung c p s ph n h i này là dùng c u trúc ph n h i phân b (DFB) ho c b ph n x Bragg phân b (DBR) nh c bi u di n trong hình 3.14. c tuy n l i theo công su t u ra i n hình c a GC-SOA c bi u di n trong hình 3.15, ây l i tín hi u là h ng s t i công su t th p nh ng gi m nhanh khi t n bão hòa.

3.6 GHÉP ÁNH SÁNG VÀO VÀ RA CÁC SOA

Khi các SOA c dùng trong các h th ng truy n quang h c thì c n chú ý r ng có s ghép hi u qu ánh sáng vào và ra chip SOA. M t i u quan tr ng n a là nh ng ph n x bên ngoài vào trong SOA ph i c gi m m t cách t i a. S m t mát do ghép u vào th p c ng quan tr ng thu c h s t p nhi u th p. Các ph ng pháp c i t i n hi u su t ghép u vào và ra m t SOA bao g m : dùng các th u kính d ng thanh chi t su t phân c p (GRIN) và s i quang c gi i h n b i th u kính b vu t (tapered lens ended optical fibre) [34-36].Vi c dùng côn (taper) trong các c u trúc SOA có th c i t i n c hi u su t ghép. Hi u su t ghép gi a m t SOA và s i quang n mode dùng k thu t trên th ng vào b c 3.5 n 4.5 dB.



Hình 3.14. Các GC - SOA với (a) DBR và (b) các vùng DFR



Hình 3.15. Đặc tuyến độ lợi theo công suất tín hiệu đầu ra của GC-SOA. Đường cong độ lợi là tuyến tính đối với công suất đầu ra dưới công suất đầu ra bão hòa.

Bên khu chợ thì quang bán d. n. Th c m c xin li ên h : thanhnam1910_2006@yahoo.com