

# CHUYỂN MẠCH QUANG LỰA CHỌN BƯỚC SÓNG SỬ DỤNG BỘ VI-CỘNG HƯỞNG RING VÀ THIẾT BỊ GIAO THOA ĐA MODE $3 \times 3$ MMI

LÊ TRUNG THÀNH

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, các thiết bị vi cộng hưởng Ring (*microring resonators-MRs*) được ứng dụng rất rộng rãi và đã được dùng làm cơ sở cho thiết kế hầu hết các thiết bị quang với chất lượng cao trong hệ thống thông tin quang và quang tích hợp như dùng làm các bộ lọc quang, các bộ định tuyến và chuyển mạch quang, bộ điều chế quang, và các bộ ghép kênh-tách kênh quang [1, 2]. Trong [3], chuyển mạch lựa chọn bước sóng sử dụng MR dùng bộ ghép định hướng đã được thiết kế và chế tạo trên công nghệ SOI (*Silicon on Insulator*). Tuy vậy, hầu hết các MR được chế tạo cho đến nay đều dùng các bộ ghép định hướng (*Directional coupler*) [4]. Gần đây, các chuyển mạch lựa chọn bước sóng với công suất chuyển mạch cực thấp và tỉ số phân biệt cao (*extinction ratio*) đã được thiết kế [5, 6] dùng MRs dựa trên các bộ ghép giao thoa đa mode  $2 \times 2$  MMI. Điều này cho phép sử dụng các ưu điểm tuyệt vời của MMI so với bộ ghép định hướng như sai số chế tạo cho phép cao, dễ dàng tích hợp với các thiết bị khác trong mạch quang, kích thước cực nhỏ và suy hao thấp [7, 8].

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ phân tích và thiết kế một cấu trúc chuyển mạch quang mới lựa chọn bước sóng sử dụng MR và bộ ghép  $3 \times 3$  MMI. Để có thể dễ dàng tương thích với các thiết bị điện tử hiện có, dễ dàng tích hợp với hệ thống thông tin quang và tận dụng được công nghệ chế tạo vi mạch, thiết bị được thiết kế và mô phỏng trên công nghệ SOI. Sử dụng hiệu ứng nhiệt quang trên silicon có hệ số nhiệt quang cao, các chuyển mạch quang lựa chọn bước sóng với công suất chuyển mạch thấp có thể đạt được từ cấu trúc này.

## 2. PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ

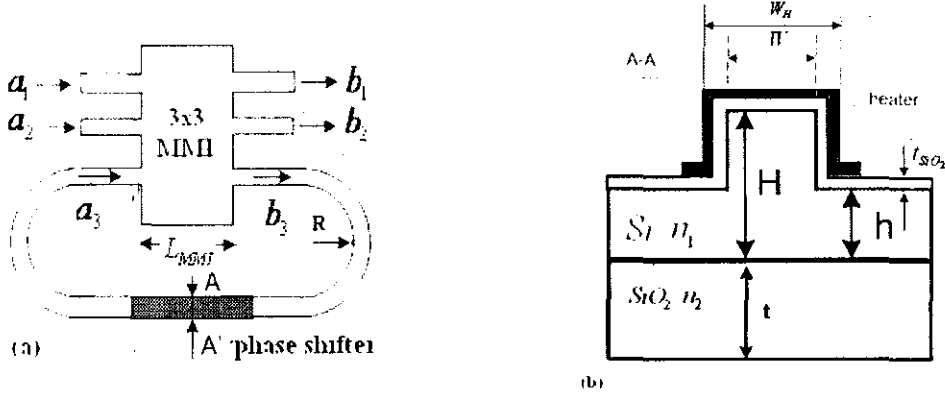
Cấu trúc của một bộ chuyển mạch lựa chọn bước sóng dùng MR và bộ ghép  $3 \times 3$  MMI, cùng với cấu trúc của bộ di pha được mô tả ở hình 1(a) và (b) tương ứng dưới đây.

Ở hình 1,  $L_{MMI}$  là chiều dài của bộ ghép MMI,  $a_i, b_i$  ( $i = 1 \div 3$ ) là các biên độ phức của tín hiệu ở đầu vào và đầu ra của bộ ghép, và  $R$  là bán kính Ring.  $H$  là chiều cao rib,  $r = h/H$  là hệ số bước (*step factor*),  $n_1$  là chỉ số chiết suất của Si,  $n_1 = 3.48$ , và  $n_2$  là chỉ số chiết suất của  $SiO_2$ ,  $n_2 = 1.46$ .

Giả sử các ống dẫn sóng quang ở đầu vào và ra là các ống dẫn sóng đơn mode, bộ ghép  $3 \times 3$  MMI được đặc trưng bởi ma trận truyền dẫn  $M$  sau [9].

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

trong đó, các hệ số  $m_{ij}$  ( $i, j = 1 \div 3$ ) thể hiện lượng tín hiệu được ghép từ các tín hiệu ở các cổng đầu vào  $a_i$  tới các cổng đầu ra  $b_i$ .



Hình 1. (a) Cấu trúc của chuyển mạch dùng MR và  $3 \times 3$  MMI, và (b) cấu trúc của bộ dịch pha

Dựa vào nguyên lý giao thoa tổng quát (general interference) [7], để có được công suất bằng nhau tại tất cả các cổng đầu ra của  $3 \times 3$  MMI thì mỗi cổng đầu vào và đầu ra cách nhau tương ứng một đoạn  $D = W_{MMI} / 3$ , và chiều dài tối thiểu của MMI phải được chọn là

$$L_{MMI} = L_{\pi} \quad (2)$$

trong đó,  $W_{MMI}$  là chiều rộng của  $3 \times 3$  MMI và  $L_{\pi} = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} = \frac{4n_r W^2}{3\lambda}$  là chiều dài phách (beat length) của hai mode bậc thấp nhất của MMI.  $\beta_0$  là hằng số truyền lan và được tính từ phương trình tán sắc trong ống dẫn sóng đa mode [10, 11]

$$\beta_v \approx kn_r - \frac{(\nu + 1)^2 \pi \lambda}{4n_r W_{ev}^2} \quad (3)$$

với  $n_r$  là chỉ số chiết suất miền lõi dẫn sóng của MMI,  $k = 2\pi / \lambda$ ,  $\lambda$  là bước sóng quang.  $W_{ev}$  là độ rộng hiệu dụng của mode  $\nu$ , với  $\nu = 0 \div N - 1$  và  $N$  là số mode được truyền trong miền MMI.

Dựa vào các tính toán trên, ma trận truyền dẫn đặc trưng cho  $3 \times 3$  MMI tính được là

$$M = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta+11\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-13\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-5\pi/24)} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-13\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-5\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-13\pi/24)} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-5\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta-13\pi/24)} & \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j(\theta+11\pi/24)} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Với  $\theta = -\beta_0 L_{MMI} + \frac{9\pi}{24}$  là pha tín hiệu khi truyền qua MMI. Từ đó, mối quan hệ giữa biên độ tín hiệu phức tại các cổng ra và vào của MMI được tính theo

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

và 
$$a_3 = \alpha \exp(j\phi) b_3 \quad (6)$$

trong đó,  $\alpha = \exp(-\alpha_0(2\pi R + L_{MMI}))$  là suy hao truyền dẫn trong vòng Ring,  $\alpha_0$  (dB/cm) là hệ số suy hao quang;  $\phi = \beta(2\pi R + L_{MMI}) + \Delta\phi$  là pha tín hiệu sau khi truyền qua vòng Ring và bộ di pha với hằng số truyền lan  $\beta$ ,  $\beta = 2\pi n_{eff} / \lambda$ ,  $n_{eff}$  là chiết suất hiệu dụng của mode cơ bản trong ống dẫn sóng quang. Khi điện áp  $V$  hay công suất  $P$  đặt vào bộ di pha sẽ tạo ra một lượng di pha  $\Delta\phi$  theo hiệu ứng nhiệt quang được tính như sau [5]

$$\Delta\phi = \pi \frac{V}{V_\pi} \quad (7)$$

ở đây  $V_\pi$  (hay công suất  $P_\pi$ ) là điện áp (hay công suất) cần đặt vào bộ di pha để tạo ra một độ di pha  $\pi$ .  $P_\pi$  được tính theo công thức

$$P_\pi = \lambda k_{SiO_2} \left( \frac{W_H}{2t} + \frac{L_{th}}{L_H} \right) \left| \frac{\partial n}{\partial T} \right| \quad (8)$$

trong đó  $\partial n / \partial T$  là hệ số nhiệt quang của Silicon,  $\partial n / \partial T = +1,86 \cdot 10^{-4} K^{-1}$  tại bước sóng  $\lambda = 1550$  nm,  $W_H$ ,  $L_H$  tương ứng là chiều rộng và chiều dài của cực nhiệt độ (heater).  $t$  là chiều cao của lớp đệm oxit  $SiO_2$ .  $L_{th}$  là chiều dài của phần nhiệt trải ra ngoài cực nhiệt và được tính gần đúng theo

$$L_{th} = \sqrt{ht} \sqrt{\frac{k_{Si}}{k_{SiO_2}}} \quad (9)$$

với  $k_{Si}$  và  $k_{SiO_2}$  tương ứng là độ dẫn nhiệt của Si và  $SiO_2$ .

Tần số cắt và thời gian đáp ứng được tính trực tiếp từ công suất chuyển mạch là

$$f_{cut-off} = \frac{P_\pi}{\pi \lambda \rho_{SiO_2} C_{SiO_2} A_H} \left| \frac{\partial n}{\partial T} \right| \quad (10)$$

$$\tau = \frac{1}{e \cdot f_{cut-off}} \quad (11)$$

ở đây,  $\rho_{SiO_2}$  và  $C_{SiO_2}$  là mật độ nhiệt và nhiệt dung riêng của  $SiO_2$ ,  $\rho_{SiO_2} = 2,203 \text{ g/cm}^3$ , và  $C_{SiO_2} = 0,703 \text{ J/g.K}$ ;  $A_H$  là diện tích phần được đốt nóng, được tính theo

$$A_H = (2L_{th} + W_H)(H + t_{SiO_2}). \quad (12)$$

Từ các phương trình (5)-(12), ta tính được tín hiệu phức tại các cổng đầu ra 1 và 2 tương ứng là

$$b_1 = (m_{11} + \frac{m_{13}m_{31}ae^{j\phi}}{1 - m_{33}ae^{j\phi}})a_1 + (m_{12} + \frac{m_{13}m_{32}ae^{j\phi}}{1 - m_{33}ae^{j\phi}})a_2 \quad (13)$$

$$b_2 = (m_{21} + \frac{m_{23}m_{31}ae^{j\phi}}{1 - m_{33}ae^{j\phi}})a_1 + (m_{22} + \frac{m_{23}m_{32}ae^{j\phi}}{1 - m_{33}ae^{j\phi}})a_2 \quad (14)$$

Đồng thời, công suất quang tại các cổng đầu ra 1 và 2 tương ứng được tính như sau

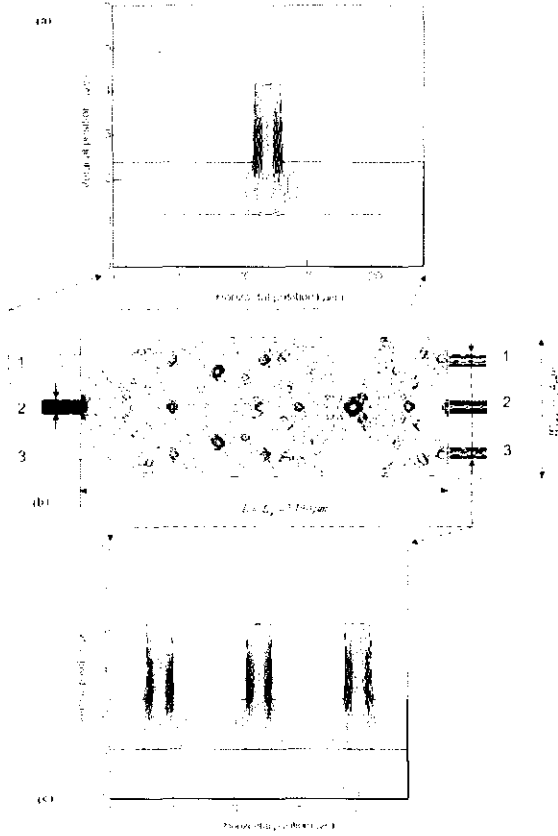
$$T_1 = |b_1|^2 \text{ và } T_2 = |b_2|^2. \quad (15)$$

Bằng cách thay đổi điện áp đặt vào bộ di pha, tần số cộng hưởng quang của bộ vi cộng hưởng sẽ được thay đổi tương ứng. Điều này có nghĩa là, ta có thể thay đổi bước sóng chuyển mạch bằng cách thay đổi điện áp điều khiển V và một bộ chuyển mạch lựa chọn bước sóng có thể đạt được từ thuộc tính này.

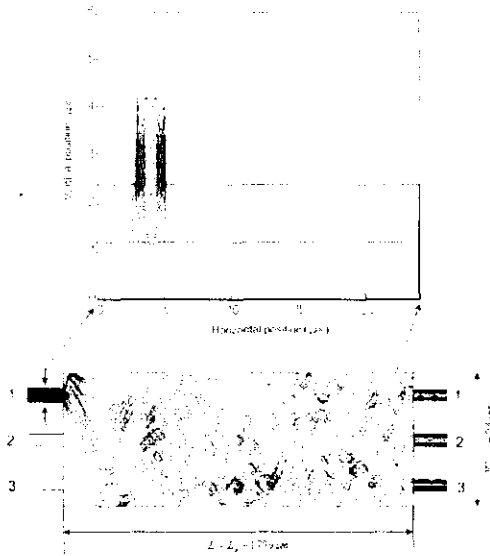
### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Trong phần này chúng tôi thiết kế và mô phỏng thiết bị trên công nghệ SOI. Phương pháp BPM (*Beam Propagation Method*) [12] được sử dụng để tối ưu hoá hoạt động của MMI. Các tham số được dùng trong mô phỏng như sau: Các cổng đầu vào và ra của thiết bị được nối với sợi quang đơn mode, đồng thời việc chọn các tham số của ống dẫn sóng quang nhằm đảm bảo điều kiện đơn mode là cực kì quan trọng để đạt được một tỉ số phân biệt cao hơn của chuyển mạch. Qua nhiều mô phỏng cấu trúc ống dẫn sóng với các tham số cấu trúc khác nhau, các tham số đạt được để thỏa mãn yêu cầu này là hệ số  $r = 0,6$ , và độ rộng của các ống dẫn sóng cổng đầu vào - ra của thiết bị là  $w = 2\mu\text{m}$ . Bán kính của Ring được chọn đủ lớn để giảm suy hao,  $R = 400 \mu\text{m}$ . Các mô phỏng được thực hiện với hệ số suy hao quang  $\alpha_0 = 1 \text{ dB/cm}$ . Chiều rộng của MMI,  $W_{MMI} = 24 \mu\text{m}$ , và khi đó chiều dài của MMI tính được là  $L_{MMI} = L_\pi = 1722 \mu\text{m}$  theo công thức lý thuyết (2) tại bước sóng quang 1550 nm. Thực hiện mô phỏng số bằng phương pháp BPM cho tín hiệu truyền trong MMI, chiều dài của MMI được tối ưu là  $L_{MMI} = L_\pi = 1790 \mu\text{m}$  như được chỉ ra trên hình 2.

Hình 2(a), (b) và (c) mô phỏng cường độ contour của mode cơ bản trong ống dẫn sóng tại cổng đầu vào 2 của MMI, trường trong miền đa mode MMI và trường tại ba cổng đầu ra 1, 2 và 3 tương ứng của MMI. Việc chọn các tham số kích thước của ống dẫn sóng để đảm bảo điều kiện đơn mode có ảnh hưởng lớn đến hoạt động của MMI và của chuyển mạch. Khi điều kiện đơn mode được đảm bảo, chất lượng chuyển mạch được nâng cao và đảm bảo được hoạt động của MMI theo thiết kế. Chỉ số chiết suất hiệu dụng của mode cơ bản trong ống dẫn sóng Ring được tính theo phương pháp FDM (*Finite Difference Method*) là  $n_{eff} = 3.4557$ . Tại khoảng cách  $L_{MMI} = L_\pi = 1790 \mu\text{m}$ , tín hiệu từ cổng đầu vào 2 được chia đều ra 3 cổng đầu ra như trên hình 2.

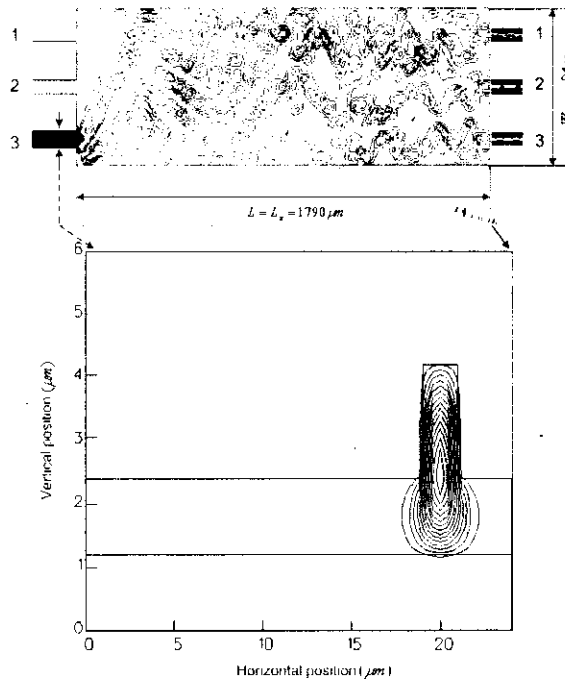


Hình 2. (a) Contour của mode trong ống dẫn sóng ở các cổng đầu vào 2 của MMI, (b) trường trong MMI, và (c) contour mode tại các cổng đầu ra của MMI

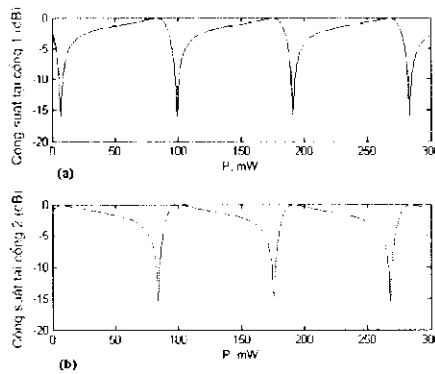


Hình 3. (a) Contour của mode trong ống dẫn sóng ở cổng đầu vào 1 của MMI và trường trong MMI

Tương tự, tại chiều dài của MMI được chọn như trên, khi kích thích tín hiệu vào đầu vào 1 và 3, tín hiệu sẽ được chia đều tại các cổng đầu ra tương ứng như được chỉ ra trên hình 3, và 4.



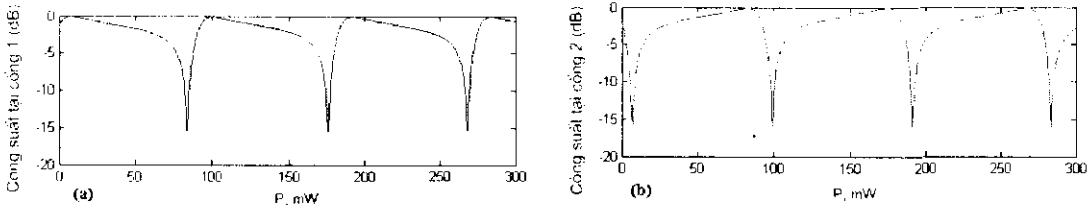
Hình 4. (a) Contour của mode trong ống dẫn sóng ở cổng đầu vào 3 của MMI và trường trong MMI



Hình 5. (a) công suất ra (chuẩn hoá) tại cổng 1 và (b) tại cổng 2 của MMI phụ thuộc vào công suất điện đặt vào heater tại bước sóng  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ , trong trường hợp tín hiệu được đưa vào ở cổng 1

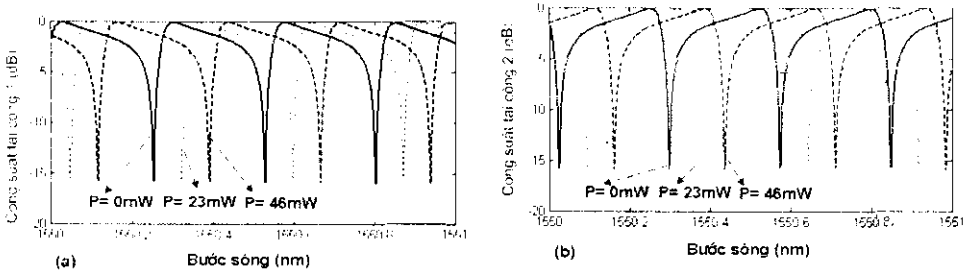
Hình 5 và 6 mô phỏng công suất tín hiệu ra (chuẩn hoá) tại các cổng 1 và 2 trong trường hợp tín hiệu vào được kích thích tại cổng 1 và 2 tương ứng. Công suất  $P_\pi$  tính được từ (8) là 46 mW. Kết quả mô phỏng cho thấy, thiết bị hoạt động như một bộ chuyển mạch với tỉ số đóng mở (on- off ratio) xấp xỉ 18 dB khi tín hiệu được đưa vào cổng 1 và ra ở cổng 1 với công suất chuyển mạch 7 mW, và khi tín hiệu vào ở cổng 1 và ra ở cổng 2 với công suất chuyển mạch

83 mW, tương ứng. Đây là điện áp nhỏ nhất có thể đạt được cho đến thời điểm này, theo như hiểu biết của chúng tôi. Như vậy, phụ thuộc vào điện áp điều khiển  $V$  (hay công suất  $P$ ) đặt vào bộ di pha ta có thể điều khiển được tín hiệu ra ở cổng 1 và 2 theo mong muốn với công suất điều khiển thấp và tỉ số đóng mở cao. Đồng thời thời gian đáp ứng của chuyển mạch là khá nhanh  $\tau = 33,4 \mu s$ .

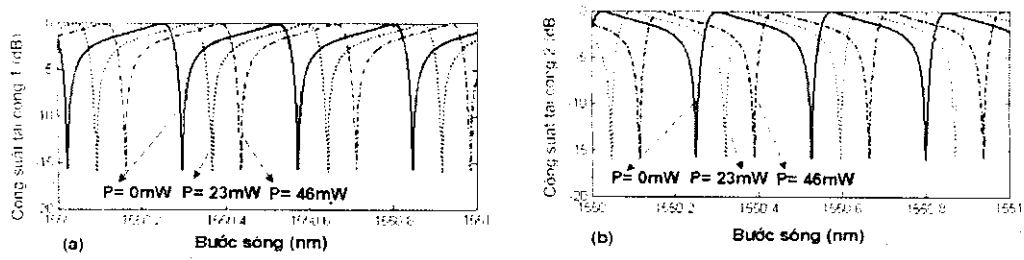


Hình 6. (a) công suất ra (chuẩn hoá) tại cổng 1 và (b) tại cổng 2 của MMI phụ thuộc vào công suất điện đặt vào heater tại bước sóng  $\lambda = 1,55 \mu m$ , trong trường hợp tín hiệu được đưa vào ở cổng 2

Bằng cách thay đổi điện áp điều khiển  $V$ , tần số cộng hưởng của mạch vi cộng hưởng được điều khiển tương ứng. Qua tính toán thấy rằng chỉ cần dải điện áp từ  $0 \div 92 mW$  ta có thể điều khiển bước sóng cộng hưởng đi hết dải tần tự do FSR (*Free Spectral Range*) của thiết bị. Như được mô phỏng trên hình 7 và hình 8, công suất chuẩn hóa của tín hiệu tại các cổng đầu ra 1 và 2 phụ thuộc vào bước sóng quang tại các giá trị công suất điện điều khiển khác nhau là 0 mW, 23 mW và 46 mW. Kết quả mô phỏng cho thấy, không những thiết bị thực hiện chức năng chuyển mạch mà đồng thời còn thực hiện chức năng như một bộ lọc có thể biến đổi được (*tunable*) với công suất điều khiển thấp.

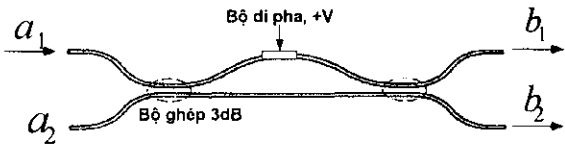


Hình 7. (a) công suất chuẩn hoá tại cổng ra 1 và (b) tại cổng ra 2 khi tín hiệu vào cổng 1, tại các điện áp điều khiển 0 mW, 23 mW và 46 mW, tương ứng



Hình 8. (a) công suất chuẩn hoá tại cổng ra 1 và (b) tại cổng ra 2 khi tín hiệu vào cổng 2, tại các điện áp điều khiển 0 mW, 23 mW và 46 mW, tương ứng

Để thấy rõ ưu điểm của thiết bị được thiết kế trong bài báo này, chúng tôi thực hiện so sánh nó với cấu trúc chuyển mạch truyền thống sử dụng cấu hình Mach-Zehnder như hình 9 dưới đây



Hình 9. Cấu trúc chuyển mạch thực hiện bằng MZI (Mach Zehnder Interferemotor)

Biên độ phức đầu ra  $b_1, b_2$  trên hình 9 quan hệ với biên độ phức đầu vào  $a_1$  và  $a_2$  theo [5]

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} e^{-\alpha_0 L} \begin{pmatrix} 1 & j \\ j & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{j\Delta\phi} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & j \\ j & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \tag{16}$$

Từ đó, công suất tại cổng ra 1 và 2 của chuyển mạch MZI khi tín hiệu được đưa vào cổng 1 là

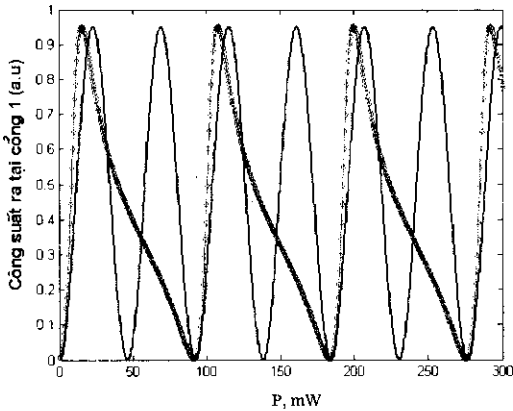
$$P_1 = e^{-2\alpha_0 L} \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right),$$

và

$$P_2 = e^{-2\alpha_0 L} \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \tag{17}$$

trong đó  $\Delta\phi$  được tính theo (7),  $L$  là chiều dài cánh MZI.

Hình 10 so sánh hoạt động của chuyển mạch dựa trên MZI với cấu trúc của được đưa ra.



Hình 10. So sánh cấu trúc chuyển mạch dựa trên MZI và cấu trúc được đưa ra trong bài báo

Rõ ràng là công suất chuyển mạch đã được giảm đáng kể so với chuyển mạch truyền thống sử dụng MZI. Công suất giảm xấp xỉ gần  $10mW$ . Tuy nhiên một trong ưu điểm nổi bật của chuyển mạch mà chúng tôi đưa ra trong bài báo này là nó có thể thực hiện chức năng lựa chọn bước sóng dựa vào việc điều khiển bước sóng cộng hưởng của mạch vì cộng hưởng thông qua điện áp điều khiển. Do vậy, cấu trúc được đưa ra có thể được ứng dụng rộng rãi trong hệ thống

thông tin quang tốc độ cao trong tương lai như dùng làm bộ lọc biến đổi, bộ chuyển mạch, và dùng làm bộ điều chế quang tốc độ cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra một cấu trúc vi cộng hưởng quang thực hiện chức năng chuyển mạch lựa chọn bước sóng biến đổi được sử dụng bộ ghép  $3 \times 3$  MMI. Thiết bị đã được thiết kế trên công nghệ SOI và mô phỏng bằng phương pháp BPM với độ chính xác cao. Dựa trên các ưu điểm của SOI, thiết bị có thể thực hiện chức năng chuyển mạch lựa chọn bước sóng với tốc độ cao và công suất thấp. Đồng thời, bằng cách thay đổi điện áp điều khiển đặt vào bộ di pha, thiết bị cũng thực hiện chức năng như một bộ lọc biến đổi. Đặc tính này hứa hẹn khả năng ứng dụng rộng rãi của cấu trúc được đưa ra trong các mạng thông tin quang tốc độ cao trong tương lai.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Thanh Trung Le, Laurence Cahill - Analysis and Design of Wavelength Selective Switches Based on MMI Assisted Microring Resonators, Proc. The 12<sup>th</sup> Optoelectronics and Communications Conference (OECC) and the 16th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (IOOC), 9-13 July, 2007, Kanagawa, Japan.
2. Thanh Trung Le, Laurence Cahill - Analysis and Design of Optical Reflectors Based on a Series of Ring Resonators, Proc. The fourth IEEE and IFIP International Conference on wireless and Optical communications Networks (WOCN2007), 2-4 July, Singapore, 2007
3. Kiyat, A. Aydinli, and N. Dagli - Low-power thermo-optical tuning of SOI resonator switch, IEEE Photon. Technol. Lett. **18** (2006) 364-366.
4. D. X. Xu, P. Cheben, A. Delôge, S. Janz, B. Lamontagne, E. Post, W. N. Ye - Design of polarization-insensitive ring resonators in silicon-on-insulator using MMI couplers and cladding stress engineering, Photonics Technol. Lett., IEEE **18** (2) (2006).
5. Thanh Trung Le, Laurence W. Cahill - A Novel Proposal for Low Power Optical Switches Based on Microring Resonators, Proc. IEEE 6th International Conference on the Optical Internet (COIN) joint with the Australian Conference on Optical Fibre Technology (ACOFT), 24-27 June, Melbourne, Australia, 2007.
6. Thanh Trung Le, Laurence W. Cahill - Analysis and Design of Tunable Wavelength Selective Switches Based on MMI Assisted Microring Resonators, The IEEE International Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2007), Seoul, Korea, 2007.
7. Cahill, L. - The synthesis of generalised Mach-Zehnder optical switches based on multimode interference (MMI) couplers, Optical and Quantum Electronics **35** (4) (2003) 465-473.
8. L. W. Cahill, Thanh T. Le - MMI devices for photonic signal processing, Proc. IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2007), July 1-5, Rome, Italy, 2007 (invited paper).

8. Thanh Trung Le, Laurence W. Cahill - Design and Analysis of  $3 \times 3$  MMI Couplers Based Racetrack Resonators for Photonic Signal Processing Applications, The 20<sup>th</sup> Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society, Florida, USA, 2007 (submitted).
9. Thanh Trung Le, Laurence W. Cahill - Accurate Modeling and Analysis of Multimode Interference Structures by Fourier Technique, The Tenth International Symposium on Contemporary Photonics Technology (CPT2007), 10-12 Jan., Tokyo, Japan, 2007.
10. T. T. Le - Accurate Analysis and Design of Multimode Interference Devices, Proc. The 5<sup>th</sup> IEEE International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future (RIVF'07), Hanoi, Vietnam, 5-8 March, 2007
11. R. Scarmozzino, A. Gopinath, R. Pregla, and S. Helfert - Numerical techniques for modeling guided-wave photonic devices," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron 6 (2000) 150-161.

## SUMMARY

### WAVELENGTH SELECTIVE OPTICAL SWITCHES USING $3 \times 3$ MULTIMODE INTERFERENCE COUPLERS BASED MICRORING RESONATORS

A wavelength selective optical switch is developed based on a microring resonator using  $3 \times 3$  multimode interference (MMI) couplers in this paper. The device was designed using a silicon-on-insulator (SOI) single-mode rib waveguide. The switching function can be achieved by using the thermo-optic effect making use of the large thermo-optic coefficient of silicon. A very high performance of the switch with a low switching power and fast response can be obtained by using this structure.

*Keywords:* Integrated optics, optical switch, multimode interference (MMI) couplers, ring resonator.

*Địa chỉ:*

*Nhận bài ngày 22 tháng 5 năm 2007*

Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội.