



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0042225

(51)^{2020.01} G02B 6/00

(13) B

(21) 1-2021-01994

(22) 13/04/2021

(45) 27/01/2025 442

(43) 25/10/2022 415

(73) HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG (VN)

Số 122 Hoàng Quốc Việt, Phường Nghĩa Tân, Quận Cầu Giấy, Hà Nội

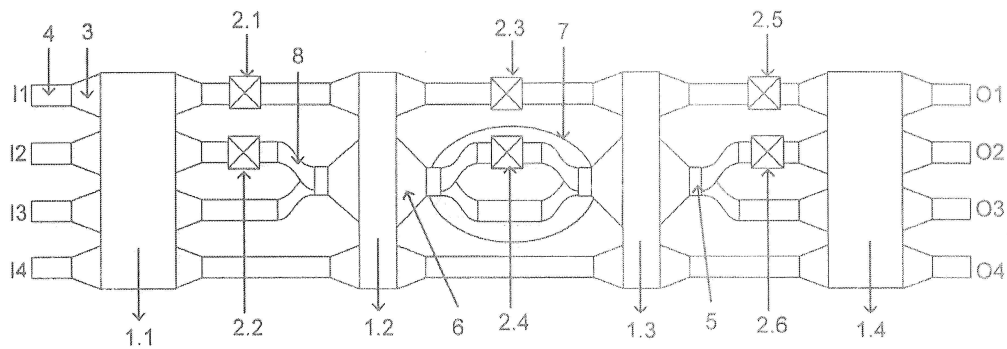
(72) Trương Cao Dũng (VN); Nguyễn Tấn Hưng (VN).

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ Hải Hân (HAI HAN IP CO., LTD.)

(54) THIẾT BỊ NỐI CHÉO ỚNG DẪN SÓNG

(21) 1-2021-01994

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị nối chéo ống dẫn sóng được chế tạo bằng silic được điều khiển bằng bộ chuyển pha điều khiển được thông qua các hiệu ứng về nhiệt-quang, điện-quang, cơ-quang, dòng hạt nóng làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng từ đó làm thay đổi pha, trong đó phần chính thiết bị bao gồm các bộ giao thoa sóng, các ống dẫn sóng, các ống dẫn sóng hình nón giúp tăng chất lượng cho tín hiệu và bộ chuyển pha điều khiển bằng kim loại được đặt phía trên các ống dẫn sóng để điều chỉnh pha của tín hiệu từ đó điều chỉnh đầu ra cho các sóng ánh sáng.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thiết bị nối chéo ống dẫn sóng được chế tạo bằng silic được điều khiển bằng một bộ chuyển pha điều khiển bằng nhiệt được làm bằng kim loại, trong đó phần chính thiết bị bao gồm các bộ giao thoa sóng, các ống dẫn sóng, các ống dẫn sóng hình nón giúp tăng chất lượng cho tín hiệu và bộ chuyển pha điều khiển bằng kim loại được đặt phía trên các ống dẫn sóng để điều chỉnh pha của tín hiệu từ đó điều chỉnh đầu ra cho các sóng ánh sáng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong hệ thống thông tin ngày nay, thông tin quang đóng một vai trò rất quan trọng trong việc cấp phát thông tin với tốc độ cao, ổn định và có thể truyền xa. Thiết bị nối chéo ánh sáng là một thành phần thiết yếu trong hệ thống thông tin quang nhưng đa số hiện nay các thiết bị nối chéo ánh sáng đang dùng các vi gương nhỏ được điều khiển chưa có tốc độ nhanh và ổn định.

Đối với cuộc cách mạng thông tin số, thiết bị toàn quang đang được nổi lên toàn cầu như một thế hệ thông tin mới với toàn bộ thiết bị đều chạy thông suốt bằng sóng ánh sáng. Với sự ra đời của các công nghệ mới như IoT, mạng thông tin di động 5G, hệ thống trực tuyến đám mây, các dịch vụ video chất lượng cao thì hệ thống quang sẽ là thành phần chính để kết nối lại với nhau. Tuy nhiên với một số nhược điểm như vẫn cần phải chuyển đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang hay ngược lại ở bộ chuyển kênh sẽ làm chậm lại tín hiệu và suy giảm chất lượng, đồng thời cũng làm gia tăng kích thước của thiết bị lên nhiều lần và cần hệ thống phức tạp hơn để điều khiển.

Trên thế giới hiện nay, các nghiên cứu từ các chuyên gia đã đưa ra nhiều phương pháp và cải tiến khác nhau để cải tiến thiết bị nối chéo ánh sáng quang. Thiết bị được làm bằng quang tử silic nổi lên như là một giải pháp hữu hiệu để khắc phục

các vấn đề. Các thiết bị quang tử silic có độ chênh lệch chiết suất hiệu dụng cao nên có khả năng giam giữ ánh sáng tốt, có kích thước nhỏ gọn tới μm , sử dụng bước sóng 1.550nm có khả năng kết nối trực tiếp với hệ thống cáp quang thương mại, đồng thời có băng thông hệ thống rộng đến hàng chục nm để có thể truyền tải đến hàng trăm Gbs đến một vài Tbs.

Với nhu cầu lớn của việc sử dụng thông tin, việc đưa một thiết bị nối chéo ống dẫn sóng dựa trên toàn quang ứng dụng được vào các hệ thống tin quang sẽ khắc phục được nhiều hạn chế vẫn còn đang tồn tại như có độ trễ nhất định, tốc độ thông tin chưa được cao, vẫn phải chuyển đổi quang-điện và kích thước thiết bị vẫn còn lớn.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là tạo ra thiết bị nối chéo ống dẫn sóng có thể điều khiển dựa trên bộ chuyển đổi pha bao gồm bộ giao thoa sóng thứ nhất, bộ giao thoa sóng thứ hai, bộ giao thoa sóng thứ ba, bộ giao thoa sóng thứ tư, ống dẫn sóng nhỏ, ống dẫn sóng lớn, ống dẫn sóng hình nón nhỏ, ống dẫn sóng hình nón lớn, bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất, bộ chuyển pha điều khiển thứ hai, bộ chuyển pha điều khiển thứ ba, bộ chuyển pha điều khiển thứ tư, bộ chuyển pha điều khiển thứ năm và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu, trong đó:

bộ giao thoa sóng thứ nhất và bộ giao thoa sóng thứ tư có chiều dài $212,3\mu\text{m}$ và bộ giao thoa sóng thứ hai và bộ giao thoa sóng thứ ba có chiều dài $106,25\mu\text{m}$;

ống dẫn sóng hình nón nhỏ đặt ở phía trên và dưới của các bộ giao thoa sóng và đối xứng với nhau qua tâm, ống dẫn sóng hình nón lớn đặt ở chính giữa khi chập 2 ống dẫn sóng của bộ giao thoa sóng dùng để ghép nối 2 ống dẫn sóng kết hợp qua một ống dẫn sóng, bộ điều biến dùng để chuyển đổi chế độ, ống dẫn sóng nhỏ được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón nhỏ và ống dẫn sóng lớn được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón lớn, tất cả các ống dẫn sóng đều được chế tạo bằng Si và được phủ bên ngoài một lớp SiO_2 ;

độ rộng của ống dẫn sóng nhỏ là 500nm, độ rộng ống dẫn sóng lớn là 900nm, ống dẫn sóng hình nón nhỏ có chiều rộng nhỏ là 500nm, chiều rộng lớn là 1500nm, ống dẫn sóng hình nón lớn có chiều rộng nhỏ là 900nm, chiều rộng lớn 3200nm;

bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất, bộ chuyển pha điều khiển thứ hai, bộ chuyển pha điều khiển thứ ba, bộ chuyển pha điều khiển thứ tư, bộ chuyển pha điều khiển thứ năm và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu được thiết kế ở dạng 1 tấm Ti đặt bên trên lõi của ống dẫn sóng Si, cách ống dẫn sóng này một khoảng 700nm trong đó bề dày của tấm Ti là 100nm, chiều rộng của tấm này là 1.500nm và bộ chuyển đổi pha điều khiển được thông qua các hiệu ứng về nhiệt-quang, điện-quang, cơ-quang, dòng hạt nóng làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng từ đó làm thay đổi pha.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ minh họa thiết bị nối chéo ống dẫn sóng theo sáng chế.

Hình 2A là hình vẽ minh họa sơ đồ cấu tạo của hai bộ ghép giao thoa đa chế độ cơ bản MMI-A.

Hình 2B là hình vẽ minh họa sơ đồ cấu tạo của hai bộ ghép giao thoa đa chế độ cơ bản MMI-B.

Hình 3 là hình vẽ minh họa cấu trúc thiết kế của bộ chuyển đổi pha điều khiển sử dụng hiệu ứng nhiệt-quang do nguồn nhiệt điều khiển sử dụng kim loại Ti.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phương án theo sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Thuật ngữ “mode” đề cập đến chế độ của các bộ giao thoa sóng và của các ống dẫn sóng.

Thuật ngữ “CPS” (Controllable phase shifter) đề cập đến các bộ chuyển đổi pha điều khiển thông qua các hiệu ứng về nhiệt-quang, điện-quang, cơ-quang, dòng hạt nóng làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng từ đó làm thay đổi pha.

Thuật ngữ “MZI” (Mach-Zehnder Interferometer) đề cập đến giao thoa kế Mach-Zehnder.

Thuật ngữ “S-bent” đề cập đến bộ phân chia và ghép nối các ống dẫn sóng.

Như được thể hiện trên Hình 1, Hình 2A và Hình 2B, thiết bị nối chéo ống dẫn sóng gồm phần chính là bộ giao thoa sóng thứ nhất 1.1, bộ giao thoa sóng thứ hai 1.2, bộ giao thoa sóng thứ ba 1.3 và bộ giao thoa sóng thứ tư 1.4. Giữa các ống dẫn sóng đa mode kết nối với nhau thông qua các ống dẫn sóng truy nhập là ống dẫn sóng đơn mode hình chữ nhật (ống dẫn sóng nhỏ 4), và ống dẫn sóng hình nón (ống dẫn sóng hình nón nhỏ 3 và ống dẫn sóng hình nón lớn 6) và bộ điều biến 7 ở giữa là cơ cấu giao thoa kế MZI. Bên cạnh đó, các bộ chuyển đổi pha điều khiển bao gồm bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất 2.1, bộ chuyển pha điều khiển thứ hai 2.2, bộ chuyển pha điều khiển thứ ba 2.3, bộ chuyển pha điều khiển thứ tư 2.4, bộ chuyển pha điều khiển thứ năm 2.5 và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu 2.6 sử dụng các hiệu ứng điều khiển bằng trường ngoài để điều biến pha tín hiệu quang để kết hợp các đường đi khác nhau của ánh sáng đến một ngõ ra mong muốn. Nhiệm vụ này tạo ra khả năng đấu chéo các kênh ống dẫn sóng. Ống dẫn sóng hình nón nhỏ 3 và ống dẫn sóng hình nón lớn 6 sử dụng cốt để tăng hiệu quả ghép nối ánh sáng từ ống dẫn sóng đơn mode và ống dẫn sóng đa mode.

Như được thể hiện trên Hình 1, thiết bị nối chéo ống dẫn sóng theo sáng chế có 4 bộ giao thoa sóng đa mode MMI với hai loại cơ bản MMI-A (tương ứng với bộ giao thoa sóng thứ nhất 1.1 và bộ giao thoa sóng thứ tư 1.4) và MMI-B (bộ giao thoa sóng thứ hai 1.2 và bộ giao thoa sóng thứ ba 1.3). Dựa vào tính chất của mỗi bộ giao

thoa sóng thì sẽ được thiết kế theo chiều cao thích hợp với chiều dài lần lượt được tính theo các công thức sau:

$$L_{MMI-A} = 3L_{\pi} / 2 \text{ và}$$

$$L_{MMI-B} = 3L_{\pi} / 4$$

Trong đó L_{π} là nửa chiều dài phách, một tham số đặc trưng cho bộ ghép giao thoa đa mode, được tính theo công thức sau đây:

$$L_{\pi} = \frac{4n_{eff}W_e^2}{3\lambda} \quad (1)$$

Trong đó, $W_e = W_{MMI} + \frac{\lambda}{\pi}(n_{eff}^2 - n_c^2)^{-0.5}$ (dành cho TE mode) là chiều rộng hiệu dụng của bộ giao thoa sóng, λ là bước sóng hoạt động chính của thiết bị, n_{eff} là chiết suất hiệu dụng của bộ giao thoa sóng, và n_c là chiết suất của lớp phủ.

Với chiều dài L_{MMI-A} bằng $3L_{\pi}/2$, khi sóng ánh sáng được đưa vào cổng số I1 và số I4 của bộ giao thoa sóng sẽ chia đôi tín hiệu đường quang thành 2 luồng tại đầu ra số O1 và O4 có công suất bằng nhau, tương tự khi ánh sáng đi vào cổng I2 và I3 thì tín hiệu truyền qua cổng O2 và O3 với công suất bằng nhau.

Với chiều dài L_{MMI-B} bằng $3L_{\pi}/4$, khi sóng ánh sáng đưa vào cổng số I1 và số I3 sẽ chia làm 3 luồng bằng nhau. Khi sóng ánh sáng được truyền vào cổng ở giữa sẽ tự soi gương theo nguyên lý tự tạo ảnh. Ống dẫn sóng hình nón được gắn giữa các ống dẫn sóng để giúp tăng hiệu suất kết nối giữa ống dẫn sóng và bộ giao thoa. Ống dẫn sóng có chức năng dẫn sóng ánh sáng kết hợp giữa các bộ giao thoa sóng, không làm thay đổi nhiều cường độ và pha của tín hiệu.

Với chiều dài L_{MMI} bằng $3L_{\pi}/4$, khi sóng ánh sáng đưa vào cổng I1 sẽ chia làm 4 luồng bằng nhau. Tuy nhiên đối với thiết bị theo sáng chế này, ánh sáng tại 2 cổng ở giữa sẽ chụm lại chung trong một cổng theo cơ chế giao thoa đối xứng tuy

nhiên tính chất về pha và biên độ đều không thay đổi như ban đầu. Giữa bộ thoa giao sóng, tại cổng dẫn sóng ở chính giữa đối với bộ MMI-B được đặt ống dẫn sóng lớn để hỗ trợ truyền hai mode. Để ghép nối các ống dẫn và tách chúng sử dụng các bộ S-bent để phân chia và ghép nối chúng. Sau đó được kết nối với bộ giao thoa kế MZI rồi đặt 1 bộ chỉnh pha ở phía trên tạo sự điều biến bậc mode thành mode cơ bản hoặc mode bậc nhất nếu có sự phù hợp pha.

Ống dẫn sóng hình nón nhỏ 3 đặt ở phía trên và dưới của các bộ giao thoa sóng và đối xứng với nhau qua tâm, ống dẫn sóng hình nón lớn 6 đặt ở chính giữa khi chập 2 ống dẫn sóng 8 của bộ giao thoa sóng dùng để ghép nối 2 ống dẫn sóng kết hợp qua một ống dẫn sóng, bộ điều biến 7 dùng để chuyển đổi chế độ, ống dẫn sóng nhỏ 4 được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón nhỏ 3 và ống dẫn sóng lớn 5 được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón lớn 6, tất cả các ống dẫn sóng đều được chế tạo bằng Si và được phủ bên ngoài một lớp SiO_2 ;

Độ rộng của ống dẫn sóng nhỏ 4 truy nhập là W_a bằng 500nm, độ rộng ống dẫn sóng lớn 5 là W_0 bằng 900nm, các ống dẫn sóng hình nón nhỏ 3 có chiều rộng nhỏ là 500, chiều rộng lớn là W_{tp1} bằng 1500nm, ống dẫn sóng hình nón lớn 6 có chiều rộng nhỏ là 900nm, chiều rộng lớn W_{tp2} là 3200nm. Bộ giao thoa Mach-Zehnder được xây dựng từ các thành phần gồm các bộ ống dẫn sóng 8 cong dạng hình sin với chiều dài là $70\mu\text{m}$, khoảng cách từ giữa tâm của 2 ống dẫn sóng cong là $2\mu\text{m}$.

Trong mô tả phương án theo sáng chế, thiết bị kết nối chéo kênh thông tin quang được hoạt động dựa trên việc điều khiển bộ chuyển pha điều khiển để chuyển kênh tín hiệu. Bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất 2.1, bộ chuyển pha điều khiển thứ hai 2.2, bộ chuyển pha điều khiển thứ ba 2.3, bộ chuyển pha điều khiển thứ tư 2.4, bộ chuyển pha điều khiển thứ năm 2.5 và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu 2.6 được thiết kế ở dạng 1 tấm Ti đặt bên trên lõi của ống dẫn sóng Si, cách ống dẫn sóng này một khoảng h_{ps} bằng 700nm, bề dày của tấm Ti là 100nm, chiều rộng của

tầm này là 1.500nm, và bộ chuyển đổi pha điều khiển được thông qua các hiệu ứng về nhiệt-quang, điện-quang, cơ-quang, dòng hạt nóng làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng từ đó làm thay đổi pha. Thiết bị nối chéo ống dẫn sóng có ba đầu vào và ba đầu ra, bộ chuyển pha điều khiển sẽ điều khiển đầu ra của tín hiệu tại cổng bất kì và không ảnh hưởng đến hai cổng đầu ra còn lại của thiết bị (ba đầu vào sẽ được đưa ra ba cổng ra mà không ảnh hưởng đến nhau).

Khi tín hiệu được đưa vào cổng đầu vào I1 của thiết bị sẽ được điều chỉnh để đi ra một cổng bất kì ở đầu ra. Tín hiệu đầu vào của cổng I2 được điều chỉnh đi ra vào hai cổng còn lại của đầu ra không trùng với tín hiệu ở cổng I1. Tín hiệu đầu vào của cổng I3 sẽ đi thẳng ra cổng đầu ra còn lại. Việc xử lý tín hiệu ở cả ba cổng đầu vào đều đồng nhất cùng xử lý cùng một lúc.

Bộ giao thoa MZI giúp tách đôi tín hiệu khi đi vào thành hai luồng bằng nhau, nếu đơn mode đi vào thì 2 luồng có cùng pha cùng công suất, còn với mode đôi thì sẽ chia đôi thành 2 luồng có công suất bằng nhau nhưng có pha chênh lệch nhau 180 độ (π radian).

Các bộ chuyển đổi pha điều khiển nêu trên được thông qua các hiệu ứng trường ngoài điều khiển được để tác động lên lớp ống dẫn sóng dưới tác động của trường ngoài sẽ tạo ra sự thay đổi hệ số chiết suất của vật liệu, từ đó gây ra sự thay đổi pha tín hiệu ánh sáng nên tạo ra sự kết hợp tín hiệu hướng đến các lối ra mong muốn trong hoạt động chuyển mạch. Các hiệu ứng trường ngoài có thể bao gồm: hiệu ứng nhiệt quang TO (thermo-optic effect), hiệu ứng điện quang EO (electro-optic effect), hiệu ứng cơ quang MO (mechanic-optic effect), hiệu ứng dòng hạt nóng (hot carrier effect) khi pha tạp các nguyên tố nhóm III/V vào lớp bán dẫn thuần silic của lõi ống dẫn sóng.

Chẳng hạn, hiệu ứng quang nhiệt tạo dịch pha bằng cách tạo ra một nguồn nhiệt được đặt giữa mỗi tầng bộ giao thoa sóng và đặt trên ống dẫn sóng thông qua

bộ tạo nhiệt (heater) bởi các tấm kim loại mỏng. Việc thay đổi nhiệt độ của tấm kim loại sẽ làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng trong thiết bị thông qua sự truyền nhiệt, từ đó sẽ điều chỉnh được sóng ánh sáng đi đúng theo hướng mong muốn. Chiết suất của ống dẫn sóng thay đổi theo nhiệt độ theo công thức:

$$\Delta n = K_c \cdot \Delta T \cdot \frac{dn}{dT} \quad (1)$$

Trong đó K_c là nhiệt dung riêng, $\Delta T = T - T_0$, and $T_0 = 300\text{K}$; $\frac{dn}{dT} = 1.84 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ cho vật liệu silic trên nền oxide silic SOI (silicon-on-insulator).

Pha thay đổi theo công thức sau:

$$\Delta \Phi = k \cdot \Delta n \cdot L_h \quad (2)$$

Trong đó L_h là độ dài của PS, $k = 2\pi/\lambda$, Δn được định nghĩa theo công thức (1).

Giả thiết rằng, bộ tạo pha sử dụng là một bộ tạo nhiệt bằng màng kim loại (chẳng hạn kim loại Ti) với chiều cao $0,1\mu\text{m}$, độ rộng trong khoảng từ $1,5\mu\text{m}$, chiều dài $250\mu\text{m}$ như mô tả trong Hình 3. Việc thay đổi nhiệt độ từ bộ tạo nhiệt sẽ gây ra hiệu ứng dịch pha nhiệt-quang (TO – thermo-optic effect) gây ra thay đổi chiết suất lõi silic đặt bên dưới sẽ gây ra dịch pha. Nếu sự dịch pha này là thích hợp theo nguyên lý được mô tả chi tiết thông qua lý thuyết về phương pháp ma trận truyền đạt TMM (Transfer matrix method) sẽ tạo ra khả năng kết nối chéo các kênh dẫn sóng.

Hoạt động của thiết bị nối chéo ống dẫn sóng của sáng chế này được mô tả theo phương pháp TMM. Trình tự các bước được thể hiện như sau:

Trước hết, ta có quan hệ ma trận của bộ giao thoa MZI có công thức biểu diễn:

$$Y1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{2}} \\ e^{-i\frac{\pi}{2}} \end{bmatrix} \text{ cho đơn mode và } Y2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{2}} \\ e^{-i\frac{\pi}{2}} \end{bmatrix} \text{ cho mode bậc hai.}$$

Ma trận của bộ giao thoa sóng với chiều dài $L_{MMI} = 3L\pi/2$ được thể hiện như dưới đây:

$$M1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ma trận của bộ giao thoa sóng với chiều dài $L_{MM1} = 3L\pi/4$ được thể hiện như dưới đây:

$$M2 = \frac{1}{\sqrt{4}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} \end{pmatrix}$$

Dựa vào các ma trận, ta có thể tính toán được quang trình của từng cổng khi đi qua từng bộ giao thoa sóng:

Quang trình khi đi qua bộ giao thoa thứ 1 trong đó I_n là ma trận tại cổng vào thứ n ($n=1,2,3,4$), P_n là ma trận quang trình khi đi qua bộ giao thoa thứ 1, I_1 và P_1 có thể được tính như sau:

$$\Pi = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

và

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

Tương tự như vậy, I2, I3, I4 và P2, P3, P4 cũng được tính toán một cách cụ thể bởi chuyên gia trong lĩnh vực này.

Tại nhánh đầu ra bên ngoài của bộ giao thoa sóng thứ nhất có gắn hai bộ điều chỉnh pha để chỉnh quang trình rồi được đưa vào bộ giao thoa sóng thứ hai. Khi θ_1 bằng $\pi/2$, tại cổng vào I1 và tại cổng vào I4, các giá trị K_{1+} và K_{4+} lần lượt được tính toán như sau:

$$K_{1+} = \frac{1}{\sqrt{4}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{i\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{i\frac{3\pi}{2}} \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{3\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

và

$$K_{4+} = \frac{1}{\sqrt{4}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

Tương tự như vậy, khi θ_1 bằng $-\pi/2$ thì K_{1-} và K_{4-} cũng được tính toán một cách cụ thể bởi chuyên gia trong lĩnh vực này.

Khi θ_2 bằng $\pi/2$, tại cổng vào I2 và tại cổng vào I3, các giá trị K_{2+} và K_{3+} lần lượt được tính toán như sau:

$$K_{2+} = \frac{1}{\sqrt{4}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{i\frac{-\pi}{2}} \\ e^{i\frac{-\pi}{2}} \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

và

$$K_{3+} = \frac{1}{\sqrt{4}} \begin{pmatrix} e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\pi} & e^{i\pi} & e^{i\frac{3\pi}{4}} \\ e^{i\pi} & e^{-i\frac{\pi}{4}} & e^{i\frac{3\pi}{4}} & e^{i\pi} \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{i\pi} \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{3\pi}{4}} \end{pmatrix} e^{i\theta}$$

Tương tự như vậy, khi θ_2 bằng $-\pi/2$ thì K_{2-} và K_{3-} cũng được tính toán một cách cụ thể bởi chuyên gia trong lĩnh vực này. Đồng thời các ma trận đầu ra của bộ giao thoa sóng thứ ba với θ_3 và θ_4 tại các cổng đầu vào còn lại cũng được suy luận theo quy tắc đã nêu trên và được tính toán bởi chuyên gia trong lĩnh vực này.

Tại bộ giao thoa sóng cuối cùng, bộ chuyển đổi pha sẽ sử dụng để kết hợp tín hiệu tại các cổng ra O1, O2, O3 và O4 tương ứng như được nêu trong Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1 – Tính toán tín hiệu tại các cổng ra O1, O2, O3 và O4 với đầu vào I1

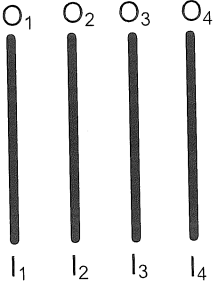
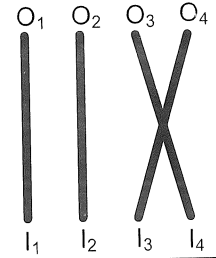
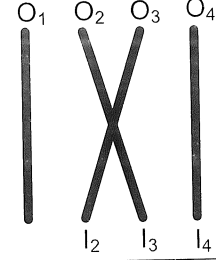
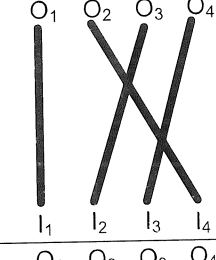
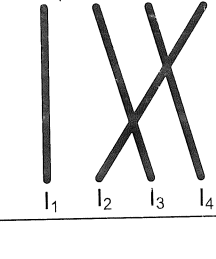
Dạng	Giá trị các θ	Kết quả
I1-O1	$\theta_1 = \pi/2$ $\theta_3 = 0$ $\theta_5 = \pi/2$	$O_{I1-O1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{i(\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{2})} \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{i\theta} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i(\theta+\pi)}$

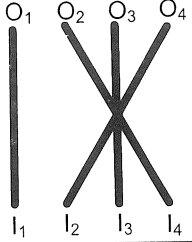
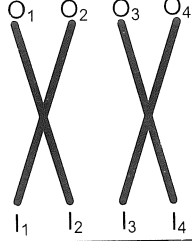
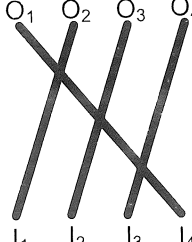
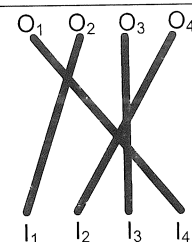
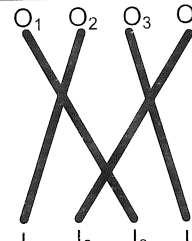
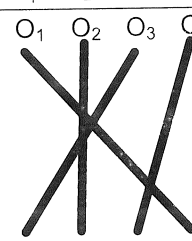
I1-O4	$\theta_1 = \pi/2$ $\theta_3 = 0$ $\theta_5 = -\pi/2$	$O_{I1-O4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e^{i(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{2})} \\ 0 \\ 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{i\theta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} e^{i(\theta+\pi)}$
I1-O2	$\theta_1 = -\pi/2$ $\theta_4 = \pi$ $\theta_6 = \pi/2$	$O_{I1-O4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{i(\frac{\pi}{4}+\frac{\pi}{2})} \\ e^{i\frac{\pi}{4}} \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i(\theta+\frac{3\pi}{4})}$
I1-O3	$\theta_1 = -\pi/2$ $\theta_4 = \pi$ $\theta_6 = -\pi/2$	$O_{I1-O4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \\ 0 & 1 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} & 1 & 0 \\ e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ e^{i(\frac{\pi}{4}-\frac{\pi}{2})} \\ e^{i\frac{\pi}{4}} \\ 0 \end{pmatrix} e^{i\theta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i(\theta+\frac{\pi}{4})}$

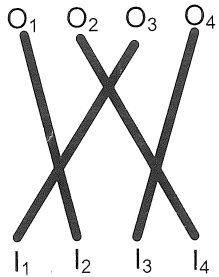
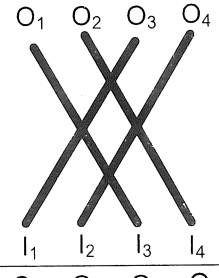
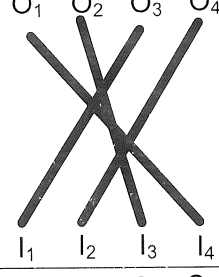
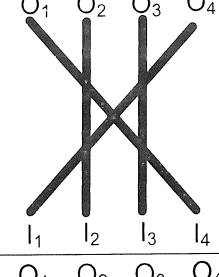
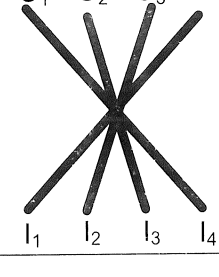
Từ kết quả của Bảng 1 nêu trên, chuyên gia trong lĩnh vực này có thể chắc chắn hiểu được phương pháp tính toán tín hiệu tại các cổng ra O1, O2, O3 và O4 với đầu vào I1 và từ đó suy ra cách tính toán tương tự với đầu vào I2, I3 và I4.

Dựa các trường hợp đã được chứng minh từ các ma trận trên và tính chất đối xứng của thiết bị, tác giả sáng chế đã thiết lập được Bảng 2 dưới đây thể hiện tất cả các trường hợp xảy ra (không tính trường hợp đối xứng) khi thiết bị hoạt động.

Bảng 2: Các trường hợp thể hiện chức năng của thiết bị OXC được đề xuất

Các trường hợp xảy ra	Hình vẽ	Pha cần thay đổi					
		$\theta_1 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = 0$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
1							
2		$\theta_1 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = 0$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
3		$\theta_1 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = 0$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
4		$\theta_1 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
5		$\theta_1 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$

6		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
7		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = \pi$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
8		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
9		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
10		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = \pi$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$
11		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$

12		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = \pi$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
13		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = \pi$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
14		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = \pi$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
15		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = 0$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{-\pi}{2}$
16		$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_2 = \frac{-\pi}{2}$	$\theta_3 = 0$	$\theta_4 = 0$	$\theta_5 = \frac{\pi}{2}$	$\theta_6 = \frac{\pi}{2}$

Các trường hợp xảy ra khi thiết bị hoạt động như nêu trong Bảng 2 trên đây là được hiểu một cách rõ ràng bởi các chuyên gia trong lĩnh vực này. Các trường hợp này đã cho thấy hiệu quả của thiết bị nối chéo kênh quang theo sáng chế đã đạt được nhờ thiết kế mới và có trình độ tính sáng tạo mà tác giả sáng chế đã đề xuất.

Hiệu quả thu được theo sáng chế

Nhờ việc sử dụng thiết bị nối chéo kênh quang theo sáng chế trong hệ thống thông tin, có thể nâng cao được dung lượng truyền tải của hệ thống mạng viễn thông. Độ rộng bước sóng khả thi để truyền tín hiệu rộng đến 40nm, có thể làm băng thông tăng đến hàng chục THz với chất lượng đảm bảo sẽ giúp đáp ứng được công cuộc phát triển trong cuộc cách mạng số hiện nay. Đa số các thiết bị nối chéo kênh quang hiện nay còn là thiết bị thụ động do đó vẫn còn nhiều hạn chế trong việc chuyển đổi tín hiệu. Thiết bị theo sáng chế sẽ giúp nối chéo kênh quang cách chủ động và có khả năng điều khiển dễ dàng với tốc độ cao hơn với tín hiệu vẫn là tín hiệu quang trong quá trình chuyển đổi. Thiết bị cũng có kích thước rất nhỏ và có chất lượng tốt sẽ giúp làm giảm được kích thước nơi các nhà mạng đặt thiết bị vận hành.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị nối chéo ống dẫn sóng có thể điều khiển dựa trên bộ chuyển đổi pha bao gồm bộ giao thoa sóng thứ nhất (1.1), bộ giao thoa sóng thứ hai (1.2), bộ giao thoa sóng thứ ba (1.3), bộ giao thoa sóng thứ tư (1.4), ống dẫn sóng nhỏ (4), ống dẫn sóng lớn (5), ống dẫn sóng hình nón nhỏ (3), ống dẫn sóng hình nón lớn (6), bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất (2.1), bộ chuyển pha điều khiển thứ hai (2.2), bộ chuyển pha điều khiển thứ ba (2.3), bộ chuyển pha điều khiển thứ tư (2.4), bộ chuyển pha điều khiển thứ năm (2.5) và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu (2.6), trong đó:

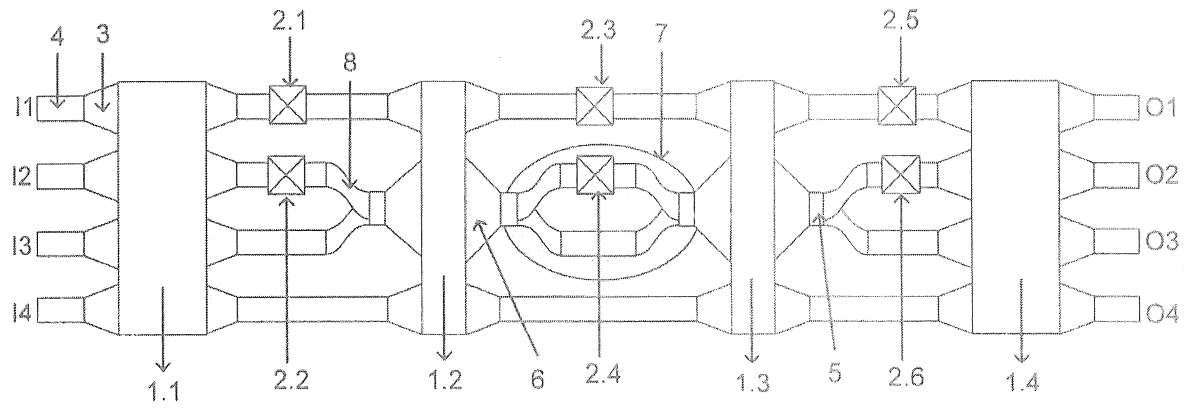
bộ giao thoa sóng thứ nhất (1.1) và bộ giao thoa sóng thứ tư (1.4) có chiều dài 212,3 μ m và bộ giao thoa sóng thứ hai (1.2) và bộ giao thoa sóng thứ ba (1.3) có chiều dài 106,25 μ m;

ống dẫn sóng hình nón nhỏ (3) đặt ở phía trên và dưới của các bộ giao thoa sóng và đối xứng với nhau qua tâm, ống dẫn sóng hình nón lớn (6) đặt ở chính giữa khi chập 2 ống dẫn sóng (8) của bộ giao thoa sóng dùng để ghép nối 2 ống dẫn sóng kết hợp qua một ống dẫn sóng, bộ điều biến (7) dùng để chuyển đổi chế độ, ống dẫn sóng nhỏ (4) được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón nhỏ (3) và ống dẫn sóng lớn (5) được đặt ở đầu nhỏ của ống dẫn sóng hình nón lớn (6), tất cả các ống dẫn sóng đều được chế tạo bằng Si và được phủ bên ngoài một lớp SiO₂;

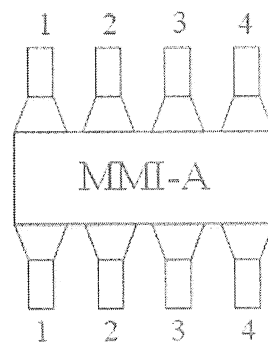
độ rộng của ống dẫn sóng nhỏ (4) là 500nm, độ rộng ống dẫn sóng lớn (5) là 900nm, ống dẫn sóng hình nón nhỏ (3) có chiều rộng nhỏ là 500nm, chiều rộng lớn là 1500nm, ống dẫn sóng hình nón lớn (6) có chiều rộng nhỏ là 900nm, chiều rộng lớn 3200nm;

bộ chuyển đổi pha điều khiển thứ nhất (2.1), bộ chuyển pha điều khiển thứ hai (2.2), bộ chuyển pha điều khiển thứ ba (2.3), bộ chuyển pha điều khiển thứ tư (2.4), bộ chuyển pha điều khiển thứ năm (2.5) và bộ chuyển pha điều khiển thứ sáu (2.6) được thiết kế ở dạng 1 tấm Ti đặt bên trên lõi của ống dẫn sóng Si, cách ống dẫn sóng này một khoảng 700nm trong đó bề dày của tấm Ti là 100nm, chiều rộng của

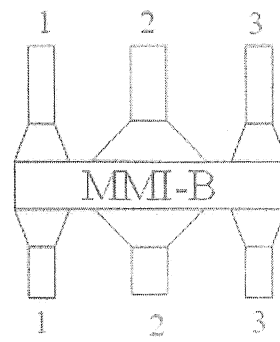
tấm này là 1.500nm và bộ chuyển đổi pha điều khiển được thông qua các hiệu ứng về nhiệt-quang, điện-quang, cơ-quang, dòng hạt nóng làm thay đổi chiết suất của ống dẫn sóng từ đó làm thay đổi pha.



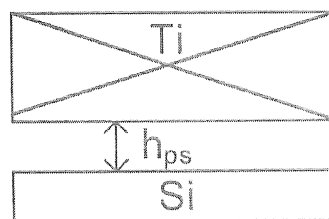
Hình 1



Hình 2A



Hình 2B



Hình 3