

**LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA**

Nghiên cứu, thiết kế hệ thống SCADA cho kho lạnh bảo quản khoai tây giống	5	Lê Ngọc Hòa Lê Thị Mai Vũ Hồng Phong Nguyễn Thị Phương Oanh
Ảnh hưởng của nguồn điện phân tán nối lưới có xét đến ổn định	13	Nguyễn Trọng Các Nguyễn Duy Khiêm Đoàn Đức Tùng
Linh kiện quang tử ghép/tách hai mode không phụ thuộc phân cực sử dụng bộ ghép chữ y bất đối xứng	20	Dương Quang Duy Trương Cao Dũng Chử Đức Hoàng Nguyễn Trọng Các Nguyễn Tuấn
Thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi điều khiển cho robot tìm và làm sạch bẩn	27	Vũ Thị Yến Nguyễn Thị Sim Dương Thị Hoa Nguyễn Thị Hưng

**LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC**

Nghiên cứu kiểu dáng hình học của phương tiện lặn	33	Nguyễn Đông Lương Ngọc Lợi Phan Anh Tuấn Phạm Thị Thanh Hương
Nghiên cứu so sánh độ giãn đứt tương đối, độ bền đường may 406 giữa chỉ 100% polyester và chỉ pha 65% polyester, 35% cotton trên vải TC	41	Bùi Thị Loan Nguyễn Thị Hồi
Nghiên cứu sự ảnh hưởng của thông số công nghệ khi miết ép dao động đến sự hình thành quỹ đạo “vết” trên lớp bề mặt	46	Nguyễn Văn Hình Dương Thị Hà Nguyễn Thị Liễu
Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến thời gian thực hiện thao tác kéo chi tiết ra ngoài bằng 2 tay của các công đoạn may sản phẩm Polo-Shirt từ vải dệt kim	53	Nguyễn Quang Thoại Phan Thanh Thảo

**NGÀNH KINH TẾ**

Tác động của dịch Covid-19 và giải pháp phát triển thương mại điện tử Việt Nam	61	Trần Thị Hằng
Hoạt động hỗ trợ doanh nghiệp nhỏ và vừa tiếp cận vốn tín dụng tại Hải Dương	69	Lương Thị Hoa

**TẠP CHÍ**  
**NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**  
**ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

**TRONG SỐ NÀY**  
**SỐ 4(75) 2021**

**LIÊN NGÀNH HÓA HỌC - CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM**

Nghiên cứu ứng dụng màng chitosan kết hợp với nano bạc để bảo quản cam canh ở Hải Dương 76 Tăng Thị Phụng  
Trần Thị Dịu

**NGÀNH GIÁO DỤC HỌC**

Rèn luyện năng lực tự học cho sinh viên khối ngành kỹ thuật Trường Đại học Sao Đỏ trong học tập các học phần Vật lý ứng dụng 85 Mạc Thị Lê

Áp dụng phương pháp dạy học dự án trong giảng dạy học phần Tư tưởng Hồ Chí Minh tại Trường Đại học Sao Đỏ 94 Phạm Thị Hồng Hoa  
Nguyễn Thị Tình  
Đặng Thị Dung

**LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC**

Xây dựng xã hội học tập ở tỉnh Hải Dương hiện nay - Thực trạng và giải pháp 101 Phùng Thị Lý

Bàn về đạo đức cách mạng của cán bộ, đảng viên ở tỉnh Hải Dương hiện nay 108 Vũ Văn Đông

Tỉnh Hải Dương thực hiện nếp sống văn minh trong việc cưới, việc tang, lễ hội, góp phần xây dựng môi trường văn hóa lành mạnh 116 Nguyễn Thị Hải Hà

Mối quan hệ giữa phát triển kinh tế và phát triển văn hóa ở Việt Nam trong giai đoạn hiện nay 121 Nguyễn Minh Tuấn  
Phạm Xuân Đức

**TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION**

Researching and designing a SCADA system for cold storage to preserve potatoe seeds	5	Le Ngoc Hoa Le Thi Mai Vu Hong Phong Nguyen Thi Phuong Oanh
Effects of distributed generations the connect grid with considation of stability	13	Nguyen Trong Cac Nguyen Duy Khiem Doan Duc Tung
Polarization-independent dual-mode coupling/decoupling photonic device using asymmetric y-couplers	20	Duong Quang Duy Truong Cao Dung Chu Duc Hoang Nguyen Trong Cac Nguyen Tuan
Design an adaptive fuzzy logic control for cleaning and detecting robot manipulator	24	Vu Thi Yen Nguyen Thi Sim Duong Thi Hoa Nghiem Thi Hung

**TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING**

A study on geometry form of underwater vehicles	33	Nguyen Dong Luong Ngoc Loi Phan Anh Tuan Pham Thi Thanh Huong
Comparison of relative fracture elongation, seam strength 406 on TC fabric of 100% polyester thread and 65% polyester, 35% cotton blend	41	Bui Thi Loan Nguyen Thi Hoi
Research on the influence of technology parameters oscillating smoothing of the regular microarray of the surface layer	46	Nguyen Van Hinh Duong Thi Ha Nguyen Thi Lieu
Surveying the effects of factors on the time of action that bring details out with 2 hands of Polo-Shirt from knitted fabrics	53	Nguyen Quang Thoai Phan Thanh Thao

**TITLE FOR ECONOMICS**

Impact of Covid-19 epidemic and solutions to develop e-commerce in Vietnam	61	Tran Thi Hang
Activities supporting small and medium enterprises to access credit capital in Hai Duong	69	Luong Thi Hoa

**TITLE FOR CHEMISTRY AND FOOD TECHNOLOGY**

Using silver nanoparticles - chitosan matrix for sweet orange preservation in Hai Duong province 76 Tang Thi Phung  
Tran Thi Diu

**TITLE FOR STUDY OF EDUCATION**

Training the self-study capacity for Sao Do University engineering students in learning Applied-physics modules 85 Mac Thi Le

Applying project-based learning method in teaching Ho Chi Minh Thought module at Sao Do University 94 Pham Thi Hong Hoa  
Dang Thi Dung  
Nguyen Thi Tinh

**TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE**

Building a learning society in Hai Duong today - situation and solutions 101 Phung Thi Ly

Discussing revolutionary ethics of cadres and party members in Hai Duong province today 108 Vu Van Dong

Hai Duong province does culture living in wedding, obsequies, festival, contribution to build a strong culture environment 116 Nguyen Thi Hai Ha

The relationship between economic development and cultural development in Vietnam in the current period 121 Nguyen Minh Tuan  
Pham Xuan Duc

# Linh kiện quang tử ghép/tách hai mode không phụ thuộc phân cực sử dụng bộ ghép chữ Y bất đối xứng

## Polarization-independent dual-mode coupling/decoupling photonic device using asymmetric Y-couplers

Dương Quang Duy<sup>1</sup>, Trương Cao Dũng<sup>1</sup>, Chủ Đức Hoàng<sup>2</sup>, Nguyễn Trọng Các<sup>4</sup>, Nguyễn Tuấn<sup>3</sup>

Email: duydq@aiphotonics.org

<sup>1</sup>Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Hà Nội

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Zinmed Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Bồi dưỡng Cán bộ quản Lý văn hóa, Thể thao và Du lịch

<sup>4</sup>Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 19/10/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/12/2021

Ngày chấp nhận đăng: 31/12/2021

### Tóm tắt

Một linh kiện quang tử ghép/tách hai mode thấp nhất cho ánh sáng phân cực từ ngang (TM) và điện ngang (TE), được tạo ra dựa trên bộ ghép chữ Y bất đối xứng trong cấu trúc dẫn sóng nóc/đỉnh nền tảng SOI. Thông qua các phương pháp mô phỏng số (3D-BPM và EIM), linh kiện đề xuất có thể hoạt động trong một dải bước sóng rộng đến 220 nm với suy hao chèn kênh (I.L), nhiễu xuyên kênh (Cr.T) và suy hao không phụ thuộc phân cực lần lượt là  $I.L > -0.28$  dB,  $Cr.T < -20$  dB và  $PDL < 0.03$  dB. Cùng với kích cỡ  $3 \times 60$   $\mu\text{m}$  và sai số chế tạo  $\pm 50$  nm, linh kiện hoàn toàn có thể được chế tạo bởi các công nghệ CMOS hiện tại để có thể áp dụng vào trong một hệ thống ghép kênh phân chia theo mode MDM.

**Từ khóa:** Linh kiện quang tử; phân cực mode ánh sáng; giao thoa đa mode; trường điện từ ngang.

### Abstract

A lowest level two-mode coupled/decoupled photonic device for transversely magnetic (TM) and electrically polarized (TE) light, generated based on an asymmetric Y-coupler in the base top/peak waveguide structure SOI platform. Through numerical simulation methods (3D-BPM and EIM), the proposed device can operate in a wide wavelength range up to 220 nm with channel insertion loss (IL), interchange interference (Cr.T) and polarization-independent loss are  $IL > -0.28$  dB,  $Cr.T < -20$  dB and  $PDL < 0.03$  dB, respectively. Together with the  $3 \times 60$   $\mu\text{m}$  size and  $\pm 50$  nm fabrication error, the device can be fabricated using current CMOS technologies for application in a mode division multiplexing system.

**Keywords:** Photonic components; light mode polarization; multimode interference; horizontal electric field.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, nguồn dữ liệu trên các mạng truyền dẫn quang đang tăng từng ngày với số lượng lớn các thiết bị IoT, các hệ thống AI đang hình thành và phát triển, sẽ tạo nên các nguồn dữ liệu cực lớn trong tương lai. Từ khi hệ thống ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM đã bão hòa về tốc độ cũng như dung lượng truyền dẫn, kĩ thuật ghép kênh phân chia theo mode (MDM) được đề xuất như một nhân tố quan trọng trong việc nâng cao dung lượng truyền dẫn cho hệ thống thông tin quang [1]-[2]. Chính vì vậy, tạo ra một hệ

thống MDM với các linh kiện quang tử được kết nối hoàn chỉnh cùng với sợi quang, đang được rất nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trong cũng như ngoài nước. Các linh kiện quang tử MDM có nhiều chức năng khác nhau, chẳng hạn như các bộ chuyển đổi mode quang [3]-[4], các bộ định tuyến mode [5]-[6], các bộ ghép thêm/giảm mode [7]-[8], các bộ ghép lựa chọn/định tuyến mode [9]-[10], hay các bộ tạo nhiều mode [11]-[12]. Bên cạnh đó, các bộ ghép/tách mode là một yếu tố không thể thiếu trong các hệ thống thông tin quang ghép kênh phân chia theo mode. Điều này cũng thể hiện rõ qua sự đa dạng về cấu trúc của chúng được công bố trong những năm gần đây, như các cấu trúc sử dụng các vòng cộng hưởng [13]-[14], các bộ ghép chữ Y bất đối xứng [15]-[16], các bộ ghép định

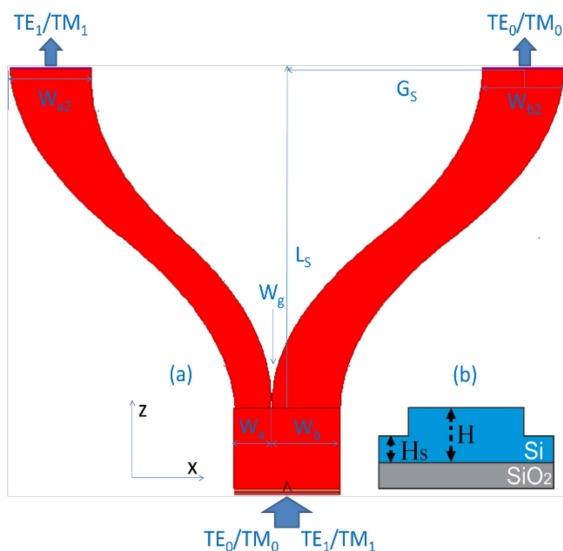
Người phản biện: 1. GS. TSKH. Thân Ngọc Hoàn

2. PGS. TS. Nguyễn Tùng Lâm



hướng bất đối xứng [17], [18], ghép phân tầng các bộ giao thoa đa mode [19], [20], hay ghép chúng với các bộ ghép chữ Y [21]-[24]. Hầu hết các bộ ghép/tách mode này được xây dựng trên nền tảng vật liệu SOI với những ưu điểm nổi bật như kích thước nhỏ gọn cỡ micro mét, băng thông rộng, suy hao thấp và tương thích với công nghệ chế tạo CMOS hiện tại [25]-[26].

Ban đầu, các bộ ghép/tách mode dựa trên dẫn sóng SOI được thiết kế chỉ dẫn các mode ở một trạng thái phân cực như TE. Sau đó chúng được nâng cấp để dẫn cả hai phân cực ánh sáng TE và TM như ở các cấu trúc [17], [18], [27], [28] ví dụ như cấu trúc [28] được nâng cấp so với cấu trúc [24], cấu trúc [17] so với cấu trúc [15], hay [27] so với [29]. Việc tạo ra các bộ ghép/tách mode hỗ trợ cả hai trạng thái phân cực ánh sáng để đáp ứng vấn đề truyền dẫn thực tế trên các sợi quang với các mode phân cực khác nhau [22], [30]. Một yêu cầu đối với các cấu trúc không phụ thuộc phân cực khi thiết kế là việc đảm bảo hiệu năng quang không quá thấp so với các cấu trúc chỉ hỗ trợ một trạng thái phân cực. Chẳng hạn linh kiện quang tử hỗ trợ hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$  [28] có băng thông hoạt động là 95 nm với suy hao chèn kênh (I.L) > -1.74 dB và nhiễu xuyên kênh (Cr.T) < -19.6 dB, trong khi cấu trúc tương tự của nó [24] có giải bước sóng hoạt động lên đến 300 nm với I.L > -0.84 dB và Cr.T < -20 dB cho hai mode  $TE_0$  và  $TE_1$ , hay linh kiện hỗ trợ đến bốn cặp mode thấp nhất  $TE/TM$  [17] có băng thông 100 nm với Cr.T < -20 dB so với linh kiện hỗ trợ bốn mode lại TE (QTE) [15], có thể hoạt động trong giải bước sóng 140 nm với Cr.T < -21.8 dB.



Hình 1. Minh họa linh kiện đề xuất  
a. Tổng quan linh kiện, b. Cấu trúc dẫn sóng nóc/đỉnh

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng một bộ ghép chữ Y bất đối xứng để xây dựng một linh kiện quang tử SOI thực hiện chức năng ghép/tách hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$ . Tuy nhiên, so với cấu trúc tương tự của nó [31] (hỗ trợ hai mode TE), hay một cấu trúc khác (cũng dẫn hai cặp mode như vậy) chúng tôi báo cáo

năm 2019 [28] thì hiệu năng quang của linh kiện đề xuất tốt hơn rất nhiều, và thậm chí tốt hơn các linh kiện ghép/tách cho hai mode TE có cấu trúc khác nhau [19], [20], [21]. Với độ rộng điểm đầu và cuối khác nhau ở các nhánh và một khe hở nhỏ giữa chúng [23], mô phỏng số BPM và EIM cho thấy, linh kiện có thể hoạt động trong giải bước sóng từ 1440 nm đến 1660 nm với Cr.T < -20 dB, I.L > -0.28 dB và PDL < 0.03 dB. Đầu tiên, chúng tôi dùng mô phỏng số để thiết kế và tối ưu linh kiện đề xuất dựa trên nguyên lý hoạt động của linh kiện. Sau đó chúng tôi đi đánh giá linh kiện thông qua hiệu năng hoạt động và sai số chế tạo của linh kiện. Cuối cùng là kết luận từ các kết quả đạt được.

## 2. THIẾT KẾ LINH KIỆN

### 2.1. Tổng quan về linh kiện

Hình 1 minh họa sơ đồ của linh kiện là một bộ ghép chữ Y nhánh cong bất đối xứng. Đầu tiên, chúng tôi sẽ thiết kế chiều rộng kênh vào của linh kiện để dẫn tốt hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$ . Tiếp theo và xuyên suốt trong thiết kế, chiều rộng nhánh của các bộ ghép chữ Y được thiết kế bằng cách khảo sát hệ số kích thích công suất  $C_{mv}$  [28], [12], dưới điều kiện bất chiết suất hiệu dụng (MEI) [32], sao cho các trường được kích thích của cặp mode  $TE_1/TM_1$  bất chiết suất với các trường của cặp mode  $TE_0/TM_0$  ở kênh ra bên trái của linh kiện. Trong khi trường được kích thích của cặp mode  $TE_0/TM_0$  sẽ bất chiết suất với cặp mode  $TE_0/TM_0$  tại nhánh phải của bộ ghép chữ Y.

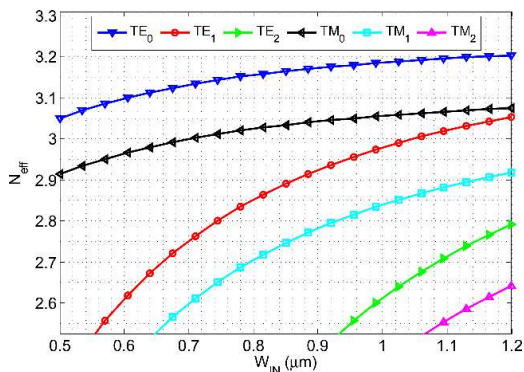
Để bắt đầu thiết kế, một bán SOI ở dạng ống dẫn sóng nóc/đỉnh được khởi tạo như ở [28], trong thiết kế này, chúng tôi thử nghiệm  $H_s = 61$  nm.

### 2.2. Nguyên lý thiết kế

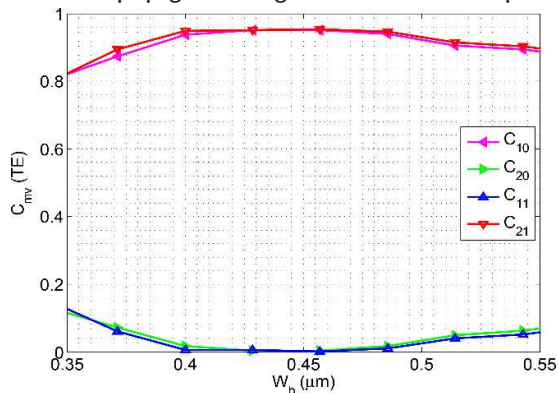
Ở thiết kế này, chiết suất hiệu dụng của mode TE và TM được khảo sát trong dải từ 0.5  $\mu\text{m}$  đến 1.2  $\mu\text{m}$  của WIN bởi BPM và EIM. Từ các kết quả khảo sát được thể hiện trong Hình 2, chiều rộng WIN được chọn là 0.7  $\mu\text{m}$ , để đảm bảo linh kiện chỉ dẫn hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$ . Chiều rộng này cũng chính là chiều rộng thân của bộ ghép chữ Y, mà các nhánh của nó sẽ được thiết kế ngay sau đây.

Có thể thấy trong Hình 1 rằng, chiều rộng thân của bộ ghép chữ Y WIN bao gồm chiều rộng của nhánh trái ( $W_a$ ), nhánh phải ( $W_b$ ) và khe cắt  $W_{g1}$  giữa  $W_a$  và  $W_b$  như một giải pháp để giảm đáng kể suy hao công suất tỏa ra bộ ghép chữ Y trong quá trình truyền của các mode được dẫn [23]. Để tìm độ rộng các nhánh của chữ Y bất đối xứng, đầu tiên, kế được tham khảo ở [28], lần lượt là  $L_s = 50 \mu\text{m}$  và  $G_s = 1.5 \mu\text{m}$ .  $G_s$  bé hơn ở thiết kế [28] là do sự độc lập của các bộ ghép chữ Y bất đối xứng trong thiết kế này.  $W_{g1}$  được đặt bằng 0, các độ rộng  $W_a$  và  $W_b$  của hai nhánh ở bộ ghép chữ Y được xác định thông qua khảo sát  $C_{mv}$ , dưới điều kiện MEI, dựa trên độ rộng WIN. Kết quả

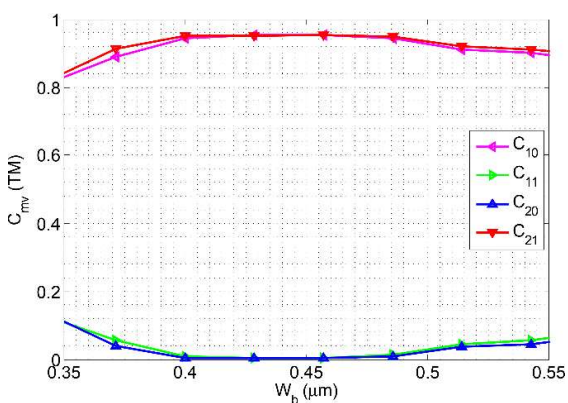
khảo sát  $W_b$  bởi 3D-BPM và EIM ở Hình 3 và Hình 4 chỉ là rất giống nhau,  $W_a$  và  $W_b$  được chọn lần lượt là  $0.25 \mu\text{m}$  và  $0.45 \mu\text{m}$ , như các giá trị tối ưu cho cả hai trạng thái phân cực TE<sub>0</sub>/TM<sub>0</sub> và TE<sub>1</sub>/TM<sub>0</sub> khi mà suy hao của các mode dẫn là tối thiểu. Sau khi đã xác định được  $W_a$  và  $W_b$ , chiều rộng của khe  $W_{g1}$  cũng được tìm thấy bằng cách khảo sát  $C_{mv}$  như một hàm của  $W_{g1}$ , giá trị tốt nhất của khe  $W_{g1}$  trong trường hợp này là  $0.021 \mu\text{m}$ . Cuối cùng, ta cần xác định độ rộng kênh ra của các nhánh ( $W_{a2}$  và  $W_{b2}$ ) chữ Y như được kí hiệu ở Hình 1. Bởi vì tất cả các kênh ra của linh kiện đề xuất đều có cùng chiều rộng để chúng chỉ dẫn các mode cơ bản (FM), từ Hình 2,  $W_{a2} = W_{b2} = 0.52 \mu\text{m}$  được chọn như một giá trị tối ưu.



Hình 2. Chỉ số hiệu dụng của các mode dẫn là các hàm số của độ rộng dẫn sóng đầu vào của thiết bị



Hình 3. Hệ số kích thích công suất  $C_{mv}$  là hàm số của độ rộng nhánh  $W_b$  của bộ ghép chữ Y cho các mode TE



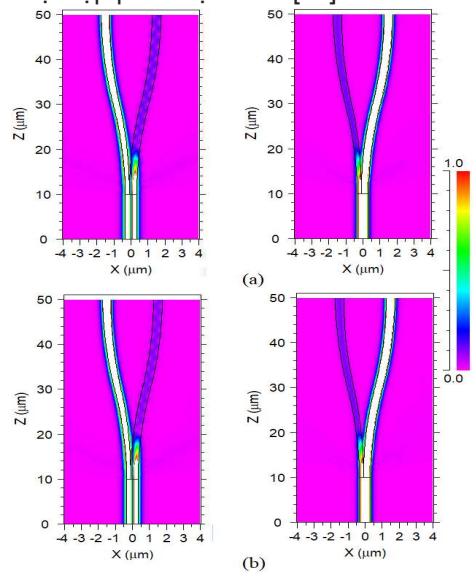
Hình 4. Hệ số kích thích công suất  $C_{mv}$  là hàm số của độ rộng nhánh  $W_b$  của bộ ghép chữ Y cho các mode TM

Sau khi thiết kế đã hoàn thành, mô phỏng số được dùng để biểu diễn mô hình trường trực quan của các mode dẫn được truyền trong linh kiện được đề xuất.

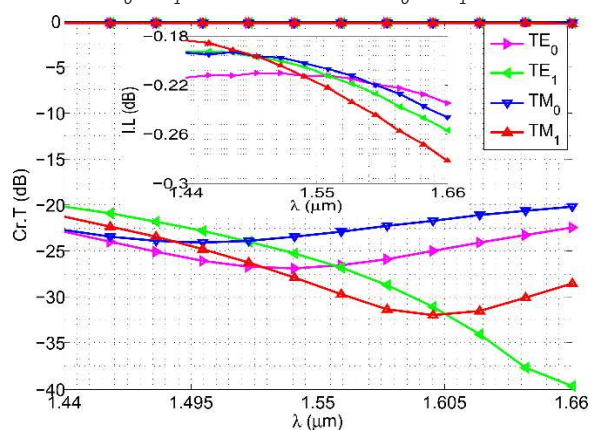
### 3. ĐÁNH GIÁ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Hiệu năng quang học

Tất cả các mode TE<sub>0</sub>/TM<sub>0</sub> và TE<sub>1</sub>/TM<sub>1</sub> được kích thích ở bước sóng  $1550 \text{ nm}$ , lần lượt được truyền vào kênh vào của linh kiện. Sau đó, chúng phát triển đến các kênh ra của linh kiện với các mô hình trường trực quan ở Hình 5a) cho các mode TE và Hình 5b) cho các mode TM. Như vậy, mô phỏng số đã phản ánh thực tế nguyên lý hoạt động của linh kiện được mô tả trong phần tổng quan. Mặt khác, hiệu suất truyền dẫn của linh kiện được đánh giá dựa vào thang màu chuẩn hóa đặt bên cạnh Hình 5. Từ đây có thể thấy có sự tổn thất quang tỏa ra bên ngoài linh kiện, suy hao này tập trung hầu như ở thân và nhánh của bộ ghép chữ Y hơn nữa một linh kiện quang tử hỗ trợ càng nhiều mode dẫn, công suất không mong muốn sẽ tăng nhiều hơn ở kênh ra của nó. Lúc này, cần đánh giá linh kiện thông qua suy hao chèn kênh I.L, nhiễu xuyên kênh Cr.T và suy hao độc lập phân cực PDL [28].

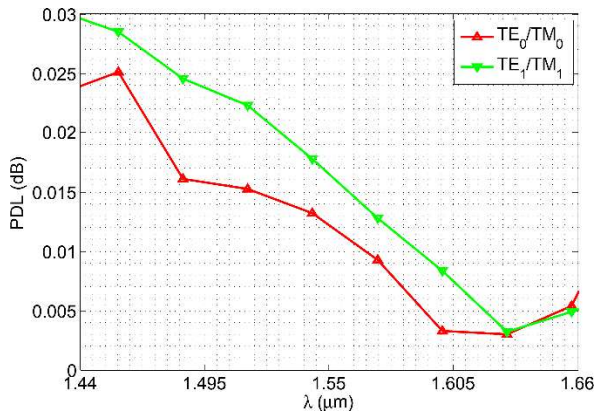


Hình 5. Mô phỏng số trực quan quá trình truyền các mode dẫn (a) TE<sub>0</sub>/TE<sub>1</sub> hàng trên và (b) TM<sub>0</sub>/TM<sub>1</sub> hàng dưới



Hình 6. I.L và Cr.T của thiết bị như các hàm số của dải bước sóng hoạt động





Hình 7. Đáp ứng bước sóng đối với PDL của hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$

Các đầu đo được đặt ở kênh ra của linh kiện, để lưu lại dữ liệu công suất đo được. Sau đó, một dải lớn bước sóng ( $\lambda$ ) xung quanh 1550 nm được kích thích ở kênh vào của linh kiện, như nguồn tín hiệu vào. Dữ liệu đo được vẽ biểu đồ I.L, Cr.T và PDL lần lượt ở Hình 5 và Hình 6, như hàm số của bước sóng cho hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$ .

Các kết quả khảo sát ở Hình 5 cho thấy, trong dải  $\lambda$  hoạt động khá rộng của linh kiện đề xuất từ 1440 nm đến 1660 nm,  $-40 \text{ dB} < \text{Cr. T} < -20 \text{ dB}$  và  $-0.28 \text{ dB} < \text{I.L} < -0.18 \text{ dB}$ , các cặp mode cùng bậc dao động tương đối giống nhau, đặc biệt cặp mode  $TE_0/TM_0$  với biên độ dao động  $-26.8 \text{ dB} < \text{Cr. T} < -20 \text{ dB}$  và  $-0.28 \text{ dB} < \text{I.L} < -0.18 \text{ dB}$ . I.L cũng chứng tỏ chênh lệch công suất giữa các cặp mode là rất thấp được thể hiện trong Hình 6. Độ cân bằng tốt nhất giữa hai cặp mode nằm trong khoảng  $\lambda$  từ 1600 nm đến 1660 nm và đạt 0.003 dB tại 1630 nm, độ cân bằng giảm dần khi giải bước sóng lùi về 1440 nm. PDL thấp nhất cho cặp mode  $TE_0/TM_0$  khoảng 0.025 dB và cặp mode  $TE_1/TM_1$  chưa đến 0.03 dB, tốt hơn rất nhiều so với xấp xỉ 1 dB ở [12] với giải bước sóng cũng rộng hơn nhiều.

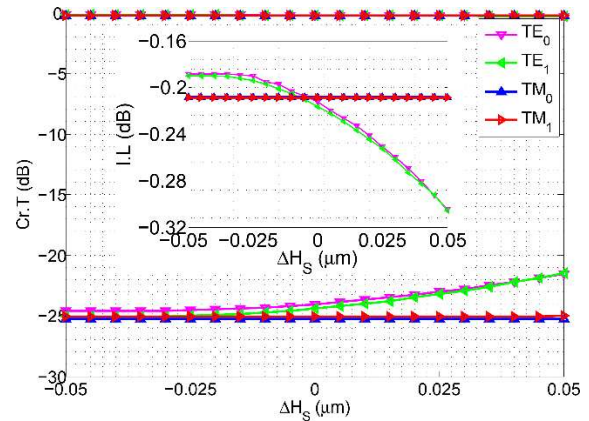
### 3.2. Sai số chế tạo

Các linh kiện quang tử MDM nền tảng SOI, được xây dựng từ các bộ ghép chữ Y có sai số tương đối rộng, đặc biệt sai số chiều dài của các bộ ghép này [21], do kích thước đến vài chục  $\mu\text{m}$  của chúng, trong khi đó, độ rộng kênh vào của các bộ ghép này có sai số chưa đến  $\pm 100 \text{ nm}$  [21], [4], [28]. Sai số nhỏ nhất khi khảo sát các linh kiện này thường là chiều cao phiến HS của cấu trúc dẫn sóng nóc/đỉnh, chẳng hạn các cấu trúc [21], [4], [28] đạt tối đa  $\pm 20 \text{ nm}$ .

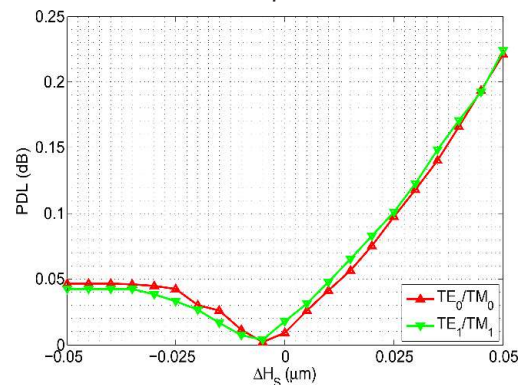
Với linh kiện được đề xuất, chúng tôi sẽ đi khảo sát sai số chế tạo thông qua chiều cao phiến HS tương tự như ở [21], [4], [28]. Kết quả khảo sát được thể hiện như Hình 7 và Hình 8.

Có thể thấy rằng, trong khoảng sai số đến  $\pm 50 \text{ nm}$  của HS, Cr.T dao động khá nhỏ so với Cr.T ở đáp ứng của  $\lambda$ , trong khoảng  $-25.3 \text{ dB} < \text{Cr. T} < -21.5 \text{ dB}$ , trong khi I.L khá tương đương nhau  $-0.3 \text{ dB} < \text{I.L} < -0.19 \text{ dB}$ . Do

Cr.T dao động tương đối nhỏ giữa các mode nên PDL giữa các cặp mode cũng rất sát nhau, PDL tốt nhất xung quanh giá trị HS = 61 nm, và  $< 0.05 \text{ dB}$  trong khoảng sai số từ  $-50 \text{ nm}$  đến  $+10 \text{ nm}$ , tốt nhất là 0.002 dB tại  $-5 \text{ nm}$ , sau đó nó tăng dần đến 0.22 dB khi sai số tiến về  $+50 \text{ nm}$ . Sự chênh lệch so với PDL ở đáp ứng  $\lambda$  là do sự dao động không giống nhau giữa các cặp mode cùng bậc trong suốt chiều cao sai số của HS, đặc biệt khi  $\Delta \text{HS} > +10 \text{ nm}$ . Tuy nhiên, nó vẫn tốt hơn nhiều so với PDL  $\Delta \text{HS}$  ở [11], luôn lớn hơn 0.22 dB trong sai số chỉ  $\pm 10 \text{ nm}$ .



Hình 8. I.L và Cr.T của thiết bị như các hàm số của sai số chiều cao phiến HS



Hình 9. I.L và Cr.T của thiết bị như các hàm số của sai số chiều cao phiến HS

## 4. KẾT LUẬN

Bằng các phương pháp mô phỏng số BPM và EIM, một linh kiện quang tử MDM nền tảng SOI được tạo ra để thực hiện chức năng ghép/tách hai cặp mode  $TE_0/TM_0$  và  $TE_1/TM_1$  với hiệu năng quang cao  $\lambda$  từ 1440 nm đến 1660 nm,  $-40 \text{ dB} < \text{Cr. T} < -20 \text{ dB}$ ,  $-0.28 \text{ dB} < \text{I.L} < -0.18 \text{ dB}$  và  $0.003 \text{ dB} < \text{PDL} < 0.03 \text{ dB}$ . Hơn nữa, với kích thước nhỏ gọn cỡ  $3 \times 60 \mu\text{m}$  và sai số chế tạo đến  $\pm 50 \text{ nm}$ , mà vẫn đảm bảo hiệu năng hoạt động của thiết bị ( $-25.3 \text{ dB} < \text{Cr. T} < -21.5 \text{ dB}$ ,  $-0.3 \text{ dB} < \text{I.L} < -0.19 \text{ dB}$ ,  $0.002 \text{ dB} < \text{PDL} < 0.22 \text{ dB}$ ), linh kiện đề xuất hoàn toàn có thể được chế tạo từ các công nghệ chế tạo CMOS hiện tại như quang khắc dùng tia điện tử (E-Beam), hay quang khắc bằng tia cực tím sâu (DUV) [26].



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Y Fazea et al (2015), *5 × 5 25 Gbit/s WDM-MDM*. Journal of Optical Communications, Vol. 36, pp. 1-7.
- [2]. KDDI Research Inc., and Sumitomo Electric Industries, Ltd (2017), *Success of ultra-high capacity optical fiber transmission breaking the world record by a factor of five and reaching a 10 Petabits per Second*. European Conference on Optical Communications (ECOC) 2017, September 17 to 21 in Gothenburg, Sweden.
- [3]. Chunlei Sun et al (2016), *Integrated switchable mode exchange for reconfigurable mode-multiplexing optical networks*. Optics Letters, vol. 41, no. 14, pp. 3257-3260.
- [4]. H.D.T. Linh, T.C. Dung, K. Tanizawa, D.D. Thang, N.T. Hung (2019), *Arbitrary TE<sub>0</sub>/TE<sub>1</sub>/TE<sub>2</sub>/TE<sub>3</sub> Mode Converter Using 1 × 4 Y-junction and 4 × 4 MMI Couplers*. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2019, pp. 1-8.
- [5]. H. Jia, T. Zhou, X. Fu, J. Ding, L. Zhang, L. Yang (2018), *Fourport mode-selective silicon optical router for on-chip optical interconnect*. Opt. Express 26, pp. 9740–9748.
- [6]. H. Jia, T. Zhou, X. Fu, J. Ding, L. Zhang, L. Yang (2018), *Integrated five-port non-blocking optical router based on mode-selective property*. Nanophotonics 7, pp. 853–858.
- [7]. Communications in Physics, Vol. 27, No. 4, pp. 327-338.
- [8]. D. Ge, J. Li, Z. Wu, F. Ren, P. Zhu, Q. Mo, Z. Li, Z. Chen, Y. He (2016), *Experimental demonstration of roadm functionalities for hybrid MDM-WDM optical networks*. 2016 Opt. Fiber Commun. Conf. Exhib. OFC, pp. 16–18.
- [9]. N. P. Diamantopoulos, M. Hayashi, Y. Yoshida, A. Maruta, R. Maruyama, N. Kuwaki, K. Takenaga, H. Uemura, S. Matsuo, K.-I. Kitayama (2015), *Mode-unbundled roadm and bidirectional mode assignment for MDM metro area networks*. Journal of Lightwave Technology 33, pp. 5055–5061.
- [10]. R. B. Priti, O. Liboiron-Ladouceur (2019), *Reconfigurable and scalable multimode silicon photonics switch for energy efficient mode-division multiplexing systems*. J. Light. Technol 37, pp. 3851 - 3860.
- [11]. D.Q. Duy, T.C. Dung, N.T.H. Duy, T.A. Tran, H. D. T. Linh, N. T. Hung, T.D. Hai, N. T. T. Thuy, D. H. Bac (2021), *1×3 reconfigurable and simultaneous three-mode selective router based on silicon waveguide utilizing Ti microheaters as thermo-optic phase shifters*. Microelectronics Journal, Vol. 117, No. 2021, 105278.
- [12]. N. Hanzawa et al. (2014), *Mode multi/demultiplexing with parallel waveguide for mode division multiplexed transmission*. Opt. Express, vol. 22, no. 24, pp. 29321–29330.
- [13]. D. Q. Duy et al.(2019), *Three Lowest Optical Modes Simultaneous Generator based on Silicon Multimode interference and Y-Junction Couplers*. NICS, Ha Noi 2019.
- [14]. L.-W. Luo and et al. (2014), *Wdm-compatible mode-division multiplexing on a silicon chip*. Nat. Commun. 5, pp. 1–7.
- [15]. B. A. Dorin and W. N. Ye (2014). *A Two-Mode Division Multiplexing Filter Demonstrated Using a SOI Ring Resonator*. in OFC, vol. 2, pp. 4–6.
- [16]. W. W. Chen, P. J. Wang, and J. Y. Yang (2013). *Mode multi/demultiplexer based on cascaded asymmetric Y-junctions*. Opt. Exp., vol. 21, no. 21, pp. 25113–25119.
- [17]. W. W. Chen, P. J. Wang, and J. Y. Yang (2014), *Optical Mode Interleaver Based on the Asymmetric Multimode Y Junction*. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 26, pp. 2043 - 2046.
- [18]. J.Wang et al (2014), *Improved 8-channel silicon mode demultiplexer with grating polarizers*. Optics Express 22, pp. 12799–12807.
- [19]. W. Jiang et al. (2019), *Compact silicon 10-mode multi/demultiplexer for hybrid mode- and polarisation-division multiplexing system*. Scientific Reports 9, 15 pages.
- [20]. T. Uematsu et al. (2012), *Design of a compact two-mode multi/demultiplexer consisting of multimode interference waveguides and a wavelengthinsensitive phase shifter for mode-division multiplexing transmission*. J. Lightwave Technol. 30, pp. 2421–2426.
- [21]. Fei Guo, Dan Lu, Ruikang Zhang, Huitao Wang, Chen Ji (2016), *An MMI-Based Mode (DE)MUX by Varying the Waveguide Thickness of the Phase Shifter*. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 28 , Nov.1, pp. 2443 – 2446.
- [22]. D. C. Truong et al. (2017), *Two mode - (de)muxer based on a symmetric y junction coupler, a 2×2 mmi coupler and a ridge phase shifter using silicon waveguides for wdm applications*.
- [23]. T. Barwicz, M. R. Watts, M. A. Popovic, P. T. Rakich, L. Socci, F. X. Kartner, E. P. Ippen, and H. I. Smith (2007), *Polarization-transparent microphotonic devices in the strong confinement limit*. Nat. Photonics 1, pp. 57-60.
- [24]. K. Shirafuji, S. Kurazono (1991), *Transmission characteristics of optical asymmetric y junction with a gap region*. Journal of Lightwave Technology 9, pp. 426 - 429.

- [25]. D. Gonz'alez-Andrade et al (2018), *Ultra-Broadband Mode Converter and Multiplexer Based on Sub-Wavelength Structures*. in IEEE Photonics Journal 10, 2018, pp. 1-10.
- [26]. C. Li, D. Liu, D. Dai (2018). *Multimode silicon photonics*. Nanophotonics 8, pp. 227–247.
- [27]. D.-X. Xu, J. H. Schmid, G. T. Reed, G. Z. Mashanovich, D. J. Thomson, M. Nedeljkovic, X. Chen, D. Van Thourhout, S. Keyvaninia, S. K. Selvaraja (2014), *Silicon photonic integration platform - have we found the sweet spot?*. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron, Vol. 20, Iss. 4, pp. 189-205.
- [28]. X. Zi and et al. (2018), *Mode-Selective Switch Based on Thermo-Optic Asymmetric Directional Coupler*. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 30, pp. 618 – 621.
- [29]. D. Q. Duy et al (2019), *Polarization-insensitive two-mode (de)-multiplexer using silicon-on-insulator-based Y-Junction 360 and multimode interference couplers*. Optical Engineering 58(6), 7 pages.
- [30]. T.A. Tran, V. Van Yem, D. Han Tran, C.D. Truong (2016), *Two mode division (De) multiplexer based on an MZI asymmetric silicon waveguide*. 2016 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), pp. 17-21.
- [31]. K. Yamada, H. Fukuda, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, and S. -i. Itabashi (2010), *Polarization-independent Ultrasmall Silicon Photonic Circuits*. NTT Technical Review 8, 2010, pp. 1 - 6.
- [32]. T.C. Dung, N.T.H. Duy, T.A. Tran, T.D. Hai, B.P. Thuong, L.N. Quynh, N.M. Thang (2018), *A low loss mode division (de) multiplexing device based on soi waveguide in the form of a branched bus*. Journal of Science and Technology, The University of Da Nang, pp. 25-28.
- [33]. J. D. Love et al (2015), *Single-, Few-, and Multimode Y-Junctions*. vol. 30, no. October, pp. 304–309.

## THÔNG TIN VỀ TÁC GIẢ



### Dương Quang Duy

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2007: Tốt nghiệp đại học ngành Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.
- + Năm 2015: Tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật điện tử, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.
- + Năm 2017: Nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật điện tử tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Quản lý tối ưu mạng vô tuyến VNPT-NET3.
- Lĩnh vực quan tâm: Multimode division multiplexing (MDM) Photonic devices, Robotics, AI.
- Email: duydq@aiphotonics.org, duydq@ptit.edu.vn.
- Điện thoại: 0916206799.



### Nguyễn Tuấn

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2007: Tốt nghiệp đại học ngành Tin học, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- + Năm 2014: Tốt nghiệp thạc sĩ Công nghệ thông tin, Chuyên ngành: Hệ thống thông tin, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên chính, Phó Trưởng phòng Đào tạo, Bồi dưỡng, Trường Cán bộ Quản lý Văn hóa, Thể thao và Du lịch.
- Lĩnh vực quan tâm: Công nghệ thông tin.
- Email: tuann@aiphotonics.org.
- Điện thoại: 0989121281.



### Trương Cao Dũng

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2003: Tốt nghiệp đại học ngành Điện tử viễn thông, chuyên ngành Điện tử viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- + Năm 2006: Tốt nghiệp thạc sĩ ngành Điện tử viễn thông, chuyên ngành Điện tử viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- + Năm 2015: Tốt nghiệp tiến sĩ ngành Điện tử viễn thông, chuyên ngành Kỹ thuật viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Kỹ thuật Điện tử 1, Học viện Công nghệ Bưu chính viễn thông.
- Lĩnh vực quan tâm: Mạch tích hợp quang tử, trí tuệ Nhân tạo cho quang tử, thông tin quang, cảm biến quang, các hệ thống nhúng thông minh.
- Email: dungtc@ptit.edu.vn.
- Điện thoại: 0936354555.



### Chử Đức Hoàng

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2003: Tốt nghiệp đại học ngành Điện tử viễn thông, chuyên ngành Điện tử viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- + Năm 2006: Tốt nghiệp thạc sĩ ngành Điện tử viễn thông, chuyên ngành Điện tử viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- + Năm 2015: Tốt nghiệp tiến sĩ ngành Điện tử y sinh, chuyên ngành Điện tử y sinh, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Lĩnh vực nghiên cứu: Hệ thống mạng.
- Đơn vị công tác: Bộ Khoa học và Công nghệ.
- Địa chỉ: Số 39 Trần Hưng Đạo, Hoàn Kiếm, Hà Nội.
- Điện thoại: 0913060581.
- Email: hoangcd@most.gov.vn.



### Nguyễn Trọng Các

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2002: Tốt nghiệp đại học ngành Điện, chuyên ngành Điện nông nghiệp, Trường Đại học Nông nghiệp I Hà Nội (nay là Học viện Nông nghiệp Việt Nam).
- + Năm 2005: Tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật tự động hóa, chuyên ngành Tự động hóa, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- + Năm 2015: Tốt nghiệp tiến sĩ ngành Kỹ thuật điện tử, chuyên ngành Kỹ thuật điện tử, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Chủ tịch Hội đồng Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: DCS, SCADA, hệ thống nhúng.
- Email: cacdhsd@gmail.com.
- Điện thoại: 0904 369 421.