

## การออกแบบอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็กสำหรับระบบ WDM

### Design of AWG with Small Size for WDM System

สาวิตรี ชาญชัยศิลป์ และวีรชัย อัสวเมธพันธ์\*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

**Sawitree Chanchaisilp and Weerachai Asawamethapant\***

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

---

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ arrayed waveguide grating (AWG) ที่มีขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบ wavelength division multiplexing (WDM) โดยผู้วิจัยได้ทำการปรับลดขนาดทางกายภาพของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบด้วยการปรับลดจำนวน arrayed waveguide จากจำนวน 4 เท่า เป็น 2 เท่า ของจำนวนช่องสัญญาณขาออก และทำการปรับลดความสูงของบริเวณ free propagation region ที่หนึ่ง (FPR 1) ให้มีค่าเพียงพอต่อการรองรับการกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่ภายในบริเวณ FPR 1 จากการปรับลดโครงสร้างดังกล่าวทำให้ อุปกรณ์ AWG ที่ได้มีขนาดเพียงครึ่งหนึ่งของ AWG ตัวต้นแบบ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบมีค่าความสูญเสียเชิงแสงสูงกว่าของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ โดยอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบมีค่า insertion loss เท่ากับ 2.260 dB และมีค่า crosstalk เท่ากับ -22.565 dB ในขณะที่อุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบมีค่า insertion loss เท่ากับ 1.763 dB และมีค่า crosstalk เท่ากับ -25.179 dB ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าความสูญเสียเชิงแสงที่สูงขึ้นจากการปรับลดขนาดทางกายภาพ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มความกว้างของ waveguide บริเวณ arrayed waveguide จาก 6 ไมโครเมตร เป็น 8 ไมโครเมตร เพื่อลดช่องว่างระหว่าง waveguide บริเวณ arrayed waveguide นอกจากนี้ได้ปรับเพิ่มค่าดัชนีหักเหบริเวณ FPR1 จาก 1.455 เป็น 1.458 เพื่อลดการกระจายตัวของแสงในบริเวณ FPR1 ซึ่งจากการออกแบบเพิ่มเติมในลักษณะดังกล่าว ทำให้แสงส่วนใหญ่จากบริเวณ FPR1 สามารถเดินทางเข้าสู่บริเวณ arrayed waveguide ได้มากขึ้นและทำให้ความสูญเสียเชิงแสงที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง โดยค่า insertion loss ลดลงจาก 2.260 dB เป็น 1.749 dB และค่า crosstalk เปลี่ยนแปลงจากค่า -22.565 dB เป็น -22.545 dB ดังนั้นจากการทำตามขั้นตอนดังกล่าวทั้งหมด ทำให้อุปกรณ์ AWG ที่ได้มีขนาดครึ่งหนึ่งและมีค่าความสูญเสียเชิงแสงใกล้เคียงกับอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ ทำให้ผู้วิจัยคาดหวังว่าอุปกรณ์ AWG ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในระบบ WDM ต่อไป

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์ arrayed waveguide grating (AWG), ระบบ wavelength division multiplexing (WDM), บริเวณ free propagation region ที่หนึ่ง (FPR 1), ความสูญเสียเชิงแสง, ค่าดัชนีหักเห

## Abstract

This paper proposes the innovative design concept of arrayed waveguide grating (AWG) with small size for wavelength division multiplexing (WDM) system. In this research, the physical dimension of traditional AWG structure is reduced by decreasing arrayed waveguide number from 4 times to 2 times larger than output waveguide number, and it is also reduced by decreasing the height of first free propagation region (FPR 1). Here, the height of FPR 1 is designed to be the appropriate value to receive the majority light expanded inside FPR 1. By decreasing these two parts, the size of the proposed AWG becomes the half size of the traditional AWG. However, the optical loss of the proposed AWG is higher than that of the traditional AWG. Here, the insertion loss and the crosstalk of the proposed AWG are 2.260 dB and -22.565 dB, while those of the traditional structure are 1.763 dB and -25.179 dB, respectively. In order to reduce the increased level of optical loss due to the reduction of physical dimension of traditional AWG, the width of waveguide in arrayed waveguide region is increased from 6  $\mu\text{m}$  to 8  $\mu\text{m}$  to decrease the gap between two waveguides. Moreover, the refractive index of FPR 1 is increased from 1.455 to 1.458 in order to reduce the light expanding inside FPR1. Using these two design concepts, the higher level of majority light from FPR 1 can travel through arrayed waveguide region, and the optical loss can be reduced significantly. Then, the insertion loss of the proposed AWG is decreased from 2.260 dB to 1.749 dB and the crosstalk is changed from -22.565 dB to -22.545 dB, respectively. Therefore, the appropriate structure of proposed AWG can be achieved. Here, the size of the proposed AWG is the half size of the traditional AWG, and the optical loss characteristics of the proposed AWG are very close to those of the traditional AWG. Finally, this proposed AWG can be expected for the application in an actual WDM system.

**Keywords:** arrayed waveguide grating (AWG), wavelength division multiplexing (WDM), free propagation region 1 (FPR1), optical loss, refractive index

## 1. บทนำ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารทางแสงได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีความรวดเร็วกว่าการติดต่อสื่อสารวิธีอื่น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบรับส่งสัญญาณดังกล่าวสามารถที่จะส่งสัญญาณได้

รวดเร็ว แต่การพัฒนาเทคนิคเพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งสัญญาณของระบบก็ยังคงมีความจำเป็นอยู่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบ wavelength division multiplexing (WDM) ได้เข้ามามีบทบาทในระบบการสื่อสารทางแสงมากยิ่งขึ้น โดยหนึ่งในอุปกรณ์ที่ถือว่ามีความสำคัญในระบบ WDM ได้แก่ อุปกรณ์ arrayed wave-

guide grating (AWG) ซึ่งอุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณแสงหลายๆ สัญญาณที่มีค่าความยาวคลื่นต่างกันออกจากกัน โดยอาศัยหลักการของการแทรกสอดของคลื่นแสง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัญหาหลักของ AWG ได้แก่ ปัญหาเรื่องความสูญเสียทางแสงทั้ง insertion loss และ crosstalk ปัญหาเรื่องขนาดของอุปกรณ์ AWG และปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่ทำให้ค่าดัชนีหักเหของวัสดุเปลี่ยนไปเวลาใช้งาน [1-3]

โดยในส่วนของปัญหาเรื่องขนาดของอุปกรณ์ AWG นั้น ผู้วิจัยส่วนใหญ่เลือกที่จะเปลี่ยนวัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์ AWG แทนวัสดุประเภทซิลิกา เช่น การเลือกใช้สารประกอบกึ่งตัวนำหมู่ III-V หรือวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ในการผลิตอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันอุปกรณ์ AWG ส่วนใหญ่จะถูกผลิตขึ้นมาโดยใช้ซิลิกาเป็นวัสดุหลัก เนื่องจากซิลิกาเป็นวัสดุที่มีราคาต่ำกว่ารวมทั้งง่ายต่อการผลิตมากกว่าวัสดุชนิดอื่น แต่ข้อด้อยคือตัวอุปกรณ์จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่จึงทำให้ไม่สามารถนำตัวอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้งานในวงจรรวมทางแสงขนาดเล็กได้

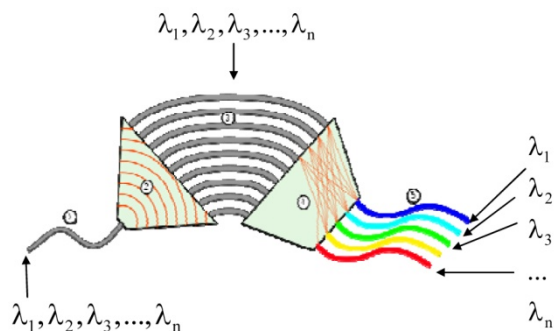
บทความนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ AWG ที่ยังคงผลิตจากวัสดุซิลิกาและเป็นอุปกรณ์มีขนาดเล็ก ซึ่งมีจำนวนช่องสัญญาณขาออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ เพื่อประยุกต์ใช้งานในวงจรรวมทางแสงขนาดเล็ก โดยสามารถแยกสัญญาณคลื่นแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่างกันได้ 3.2 nm สำหรับระบบการสื่อสารทางแสงในย่านความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1550 nm

ซึ่งในการที่ผู้วิจัยได้ทำการเลือกศึกษาในกรณีที่มีจำนวนช่องสัญญาณขาออกเป็น 8 ช่องสัญญาณสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากตัวโครงสร้างของอุปกรณ์ยังไม่ซับซ้อนมากจนเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มี

จำนวนช่องสัญญาณขาออกมากกว่านั้น เช่น 16 หรือ 32 ช่องสัญญาณ และผู้วิจัยสามารถนำโครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบไปผลิตเป็นตัวอุปกรณ์จริงจากเครื่องมือต่างๆ ที่มีในมหาวิทยาลัยได้โดยง่าย ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำการศึกษาค้นคว้าเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG ที่ผลิตขึ้นจริงได้ต่อไปในอนาคต

## 2. หลักการทำงานของ AWG

AWG เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการแทรกสอดของแสง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัว demultiplexing ในระบบ WDM โดยโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG นั้นประกอบด้วยส่วนของ (1) input guide (2) free propagation region ที่ 1 (FPR 1) (3) arrayed waveguide (4) free propagation region ที่ 2 (FPR 2) และ (5) output guide ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของ arrayed waveguide grating [4]

โดยส่วนของ input guide นั้นทำหน้าที่เป็นทางเดินแสงนำแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่างๆ เข้าสู่ตัว AWG และส่วนของ FPR 1 เป็นส่วนที่ปล่อยให้แสงเกิดการกระจายตัวอย่างอิสระ ต่อมาในส่วนของกลุ่ม arrayed waveguide นั้นทำหน้าที่รับแสงทุกๆ ค่าความยาวคลื่นที่กระจายตัวจาก FPR 1 เพื่อทำให้เกิดความต่างของเฟสของแสงใน waveguide แต่ละเส้นของ

arrayed waveguide หลังจากนั้นส่วนของ FPR 2 เป็นส่วนที่รับแสงจาก arrayed waveguide และที่ปลายของบริเวณ FPR 2 จะเป็นบริเวณที่แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวกันเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันโดยจะมีการไล่ลำดับของความยาวคลื่นจากบนลงล่าง และส่วนสุดท้ายของอุปกรณ์เป็นส่วนของ output guide หรือส่วนของช่องสัญญาณขาออกที่ทำหน้าที่รองรับสัญญาณแสงที่แทรกสอดแบบเสริมกันจากบริเวณ FPR 2 [4]

### 3. แนวคิดในการออกแบบโครงสร้าง AWG ที่มีขนาดเล็กในงานวิจัยนี้

#### 3.1 การปรับลดขนาดของ AWG จากโครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์

โดยทั่วไปการออกแบบอุปกรณ์ AWG มักจะมีการออกแบบให้จำนวนของ arrayed waveguide เป็น 4-6 เท่าของจำนวน output guide เพื่อรองรับแสงส่วนใหญ่ที่ส่งออกมาจากบริเวณ FPR 1 [5] ทำให้ตัวอุปกรณ์ AWG มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากสมการพื้นฐานของอุปกรณ์ AWG [4] พบว่าจำนวนของ waveguide ในกลุ่ม arrayed waveguide และจำนวนช่องสัญญาณขาออก ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานว่า ถ้าแสงส่วนใหญ่สามารถเดินทางจาก FPR 1 เข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้ แม้จะลดจำนวน arrayed waveguide ลงจาก 4 เท่าของจำนวนช่องสัญญาณขาออก อุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบนั้นก็ยังสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรณีทั่วไป

ดังนั้นในส่วนแรกของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของจำนวน arrayed waveguide และความสูงของบริเวณ FPR 1 ที่มีผลกระทบ

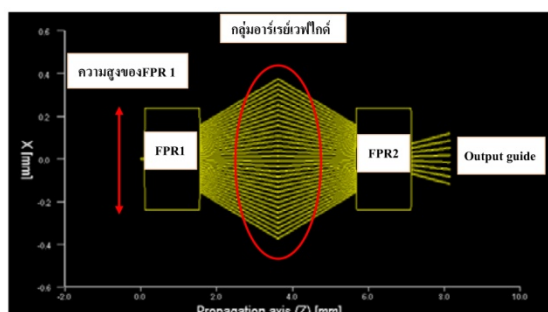
ต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่ง output guide ของ AWG โดยอุปกรณ์ AWG ที่งานวิจัยนี้ได้ นำมาเป็นอุปกรณ์ตัวต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ คือ อุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบโดยบริษัท C2V [5] โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OlympIOs เป็นเครื่องมือในการช่วยออกแบบอุปกรณ์ AWG โดยการวิเคราะห์จะคำนวณในแบบ TE โหมด ดังนั้นการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงจึงออกมาในรูปแบบของสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ได้มีการกำหนดตัวแปรพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรตั้งต้นที่ใช้ในการออกแบบ

| ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ                       |                      |
|-----------------------------------------------|----------------------|
| จำนวน output guide                            | 8                    |
| ผลต่างของค่าความยาวคลื่นบริเวณ output channel | 3.2 nm               |
| ความยาวคลื่นกลาง                              | 1.55 $\mu\text{m}$   |
| ความยาวคลื่นที่ใช้ทดสอบ                       | 1.5548 $\mu\text{m}$ |
| ดัชนีหักเหของแสงบริเวณ FPR                    | 1.455                |
| ดัชนีหักเหของแสงของกลุ่ม arrayed waveguide    | 1.455                |
| ดัชนีหักเหของพื้นหลัง                         | 1.450                |
| ระยะโฟกัสของ FPR                              | 1467 $\mu\text{m}$   |
| ระยะห่างระหว่าง arrayed waveguide             | 10 $\mu\text{m}$     |

ส่วนนิยามของบริเวณต่างๆ ของอุปกรณ์ AWG แสดงในรูปที่ 2 โดยจำนวน arrayed waveguide คือจำนวนของเส้น waveguide ที่อยู่ในกลุ่ม arrayed waveguide ภายในวงรีสีแดงในรูป นอกจากนี้ output guide หรือช่องสัญญาณขาออกจะมีทั้งหมด 8

ช่องสัญญาณ และในส่วนของความสูงของบริเวณ FPR 1 นั้นสามารถคำนวณได้จากระยะของลูกศร



รูปที่ 2 นิยามของบริเวณต่างๆ ของอุปกรณ์ AWG

3.1.1 การศึกษาอิทธิพลของจำนวน arrayed waveguide ที่มีต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของอุปกรณ์ AWG

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของจำนวน arrayed waveguide ที่มีต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งเอาต์พุตของ AWG โดยได้กำหนดให้จำนวนของ arrayed waveguide เป็น 32 เส้น (4 เท่า ของจำนวน output guide) 24 เส้น (3 เท่า ของจำนวน output guide) 16 เส้น (2 เท่า ของจำนวน output guide) และ 8 เส้น (1 เท่า ของจำนวน output guide) ส่วนตัวแปรต้นอื่นๆ ใช้ค่าในตารางที่ 1

รูปที่ 3 แสดงผลการคำนวณในแบบ contour mode เพื่อแสดงการกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่ในอุปกรณ์ AWG ในกรณีต่างๆ จากรูปพบว่าแสงส่วนใหญ่เกิดการกระจายตัวอย่างอิสระในบริเวณ FPR 1 และสามารถเดินทางเข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้ โดยแสงที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ มีค่าความยาวคลื่น 1554.8 nm และได้ถูกออกแบบให้ส่งสัญญาณไปยังช่องสัญญาณขาออกที่ 6 นับจากด้านบน โดยในทุกๆ กรณีการแทรกสอดแบบเสริมกันนั้นเกิดที่จุดเดียวกันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาบริเวณรอยต่อบริเวณ FPR 1 กับกลุ่มของ arrayed waveguide แล้วพบว่าในกรณีที่จำนวน arrayed waveguide เป็น 32, 24 และ 16 เส้น กลุ่มของ arrayed waveguide สามารถรองรับการเดินทางของแสงส่วนใหญ่ที่กระจายตัวมาจากบริเวณ FPR 1 ได้ แต่ในกรณีที่จำนวน arrayed waveguide ลดลงเหลือเพียง 8 เส้น พบว่าแสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางเข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้

เนื่องจากเนื้อที่ของกลุ่มของ arrayed waveguide แคบกว่าบริเวณที่ลำแสงส่วนใหญ่ที่เดินทางมาจาก FPR1 ทำให้แสงบางส่วนหลุดรอดไป โดยบริเวณที่เกิดการสูญเสียของแสงนั้นจะอยู่ในบริเวณวงรีสีแดงในรูปที่ 3 (ง)

รูปที่ 4 เป็นรูปที่แสดงสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าทางฝั่งเอาต์พุตในกรณีต่างๆ ซึ่งจากรูปพบว่าตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าสูงสุดนั้นจะเกิดที่จุดเดียวกันทั้งหมด โดยในกรณีที่จำนวน arrayed waveguide เป็น 32, 24 และ 16 เส้นนั้น ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดทางฝั่งเอาต์พุตของ AWG มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีการลดค่าลงบ้างในกรณีที่จำนวน arrayed waveguide เป็น 16 เส้น ส่วนในกรณีที่จำนวน arrayed waveguide เป็น 8 เส้น นั้น พบว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากเกิดการสูญเสียเชิงแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

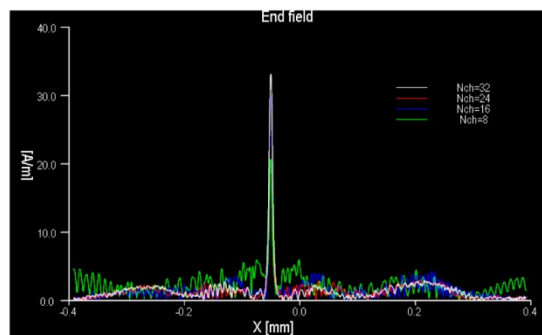
3.1.2 การศึกษาอิทธิพลของขนาดความสูงของบริเวณ FPR 1 ต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของอุปกรณ์ AWG

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความสูงของบริเวณ FPR 1 ที่มีต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งเอาต์พุตของอุปกรณ์ AWG โดยกำหนดให้จำนวนของ arrayed waveguide มีค่าเท่ากับ 4 เท่า ของจำนวนเอาต์พุต (32 เส้น) และมีการเปลี่ยน

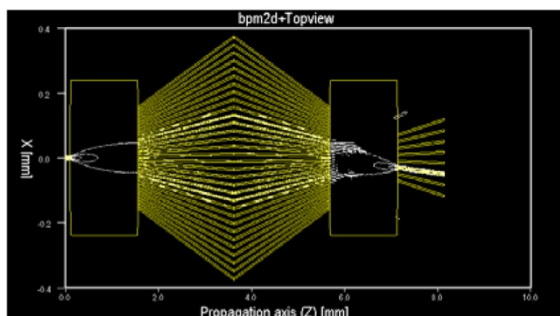
ค่าความสูงของ FPR 1 ของอุปกรณ์ AWG เป็น 475, 425, 375 และ 325  $\mu\text{m}$  ซึ่งความสูง 475  $\mu\text{m}$  จะเป็นความสูงของ FPR 1 ของอุปกรณ์ตัวต้นแบบ และความสูงของ FPR 1 เท่ากับ 325  $\mu\text{m}$  เป็นความสูงที่น้อยที่สุดที่สามารถรองรับแสงส่วนใหญ่ที่เดินทางจากบริเวณ FPR 1 ซึ่งค่าความสูงดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากความกว้างของการกระจายตัวของแสงที่ตอนปลายของบริเวณ FPR 1

จากผลการคำนวณพบว่าในทุกๆ ค่าของความสูงของ FPR 1 สัญญาณแสงถูกส่งไปยังบริเวณช่องสัญญาณที่ 6 จากด้านบนเช่นเดิม ซึ่งในทุกๆ กรณีจะมีการกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่เหมือนกับรูปที่ 3 (ก) ส่วนที่แตกต่างจะมีแค่ความสูงของบริเวณ FPR 1 เท่านั้น ผู้วิจัยจึงไม่ได้แสดงผลการคำนวณเพิ่มเติม

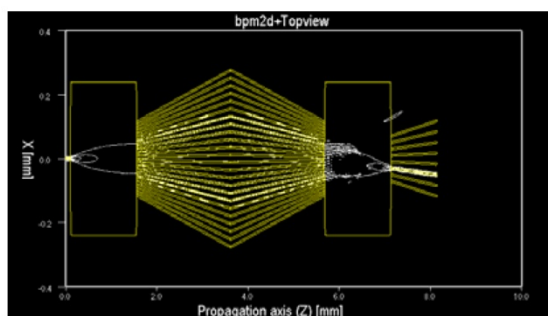
ในส่วนนี้



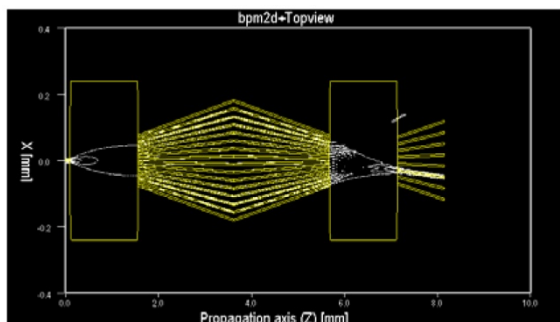
รูปที่ 4 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออก เมื่อจำนวน arrayed waveguide เป็น 32, 24, 16 และ 8 เส้นตามลำดับ



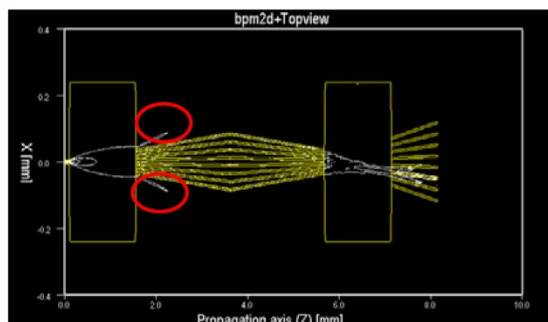
(ก) จำนวนอาร์เรย์เวฟไกด์เท่ากับ 32 เส้น



(ข) จำนวนอาร์เรย์เวฟไกด์เท่ากับ 24 เส้น



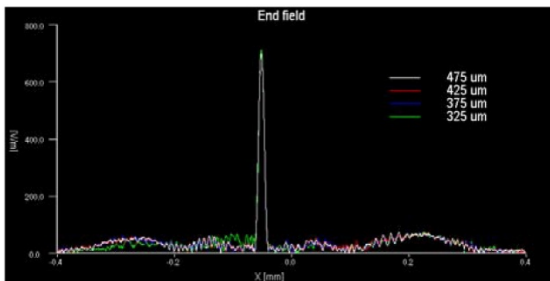
(ค) จำนวนอาร์เรย์เวฟไกด์เท่ากับ 16 เส้น



(ง) จำนวนอาร์เรย์เวฟไกด์เท่ากับ 8 เส้น

รูปที่ 3 การกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่ในการแสดงผลแบบ contour mode สำหรับจำนวน arrayed waveguide กรณีต่างๆ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าทางช่องสัญญาณขาออกของทุกๆ กรณี พบว่าจะมีลักษณะใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 5 และค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดของทุกกรณีจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแสงส่วนใหญ่สามารถเดินทางเข้าสู่บริเวณกลุ่ม arrayed waveguide ด้วยปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากเราออกแบบให้ค่าความสูงของ FPR 1 มีค่ามากพอกับการรองรับการกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่ได้แล้วนั้นความสูงของ FPR 1 จะส่งผลต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกน้อยมาก



รูปที่ 5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออก เมื่อค่าความสูงของ FPR 1 เป็น 475, 425, 375 และ 325  $\mu\text{m}$

3.1.3 การทดสอบอุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการลดจำนวน arrayed waveguide และความสูงของบริเวณ FPR 1 กับความยาวคลื่นแสงทั้ง 8 ค่า

เมื่อพิจารณาจาก 2 หัวข้อย่อย ที่ผ่านมา ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดทั้งสองมารวมกันโดยทำการปรับลดขนาดของอุปกรณ์ AWG ทางกายภาพ ด้วยการปรับลดจำนวน arrayed waveguide เหลือเพียง 16 เส้น และทำการปรับลดความสูงของ FPR 1 เท่ากับ 325  $\mu\text{m}$  และได้ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวกับความยาวคลื่นแสง 8 ค่า ได้แก่ 1538.8,

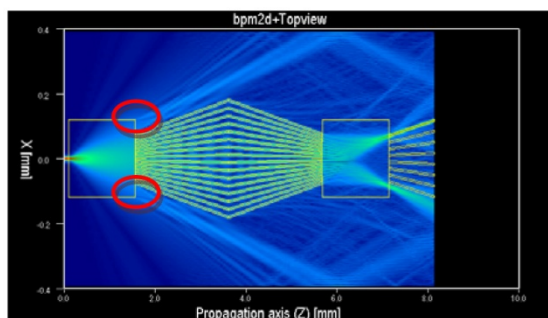
1542, 1545.2, 1548.4, 1551.6, 1554.8, 1558 และ 1561.2 nm ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการแยกสัญญาณแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่างกันได้ 3.2 nm ของอุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการออกแบบ ซึ่งในกรณีนี้สัญญาณแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 1538.8 nm จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกที่ 1 นับจากด้านบน และสัญญาณแสงที่มีค่าความยาวคลื่นอื่นๆ ก็จะถูกออกแบบให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันที่ช่องสัญญาณขาออกช่องลำดับต่อไปตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวของคลื่นแสงในการแสดงผลแบบ intensity mode โดยเลือกกรณีที่มีความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 1538.8 nm และ 1551.6 nm เพื่อเป็นตัวอย่างผลการคำนวณ ซึ่งการแสดงผลแบบ intensity mode นี้จะช่วยให้เห็นแสงส่วนที่สูญหายไปตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง FPR 1 กับ arrayed waveguide ได้ชัดเจนกว่าแบบ contour mode

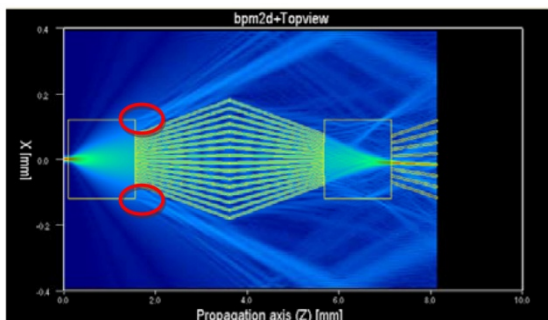
โดยจากรูปพบว่าอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบสามารถแยกสัญญาณแสงทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่นได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 1538.8 nm จะถูกส่งไปยังบริเวณช่องสัญญาณขาออกที่ 1 และแสงที่มีค่าเท่ากับ 1551.6 nm จะถูกส่งไปยังบริเวณช่องสัญญาณขาออกที่ 5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาถึงช่วงรอยต่อระหว่างบริเวณ FPR1 กับกลุ่ม arrayed waveguide ในบริเวณวงรีสีแดงจากทั้ง 2 กรณี นั้น พบว่ามีความสูญเสียเชิงแสงเกิดขึ้น ตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1.1

โดยรูปที่ 7 เป็นรูปที่เปรียบเทียบสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกทั้ง 8 ค่า ความยาวคลื่นของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ และอุปกรณ์ AWG ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ จากรูปพบว่า

อุปกรณ์ทั้งสองสามารถทำหน้าที่เป็น demultiplexers ที่สามารถแยกสัญญาณแสงในตำแหน่งที่ได้ทำการออกแบบอย่างแม่นยำ และความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากทุกๆ ช่องสัญญาณขาออกยังมีค่าใกล้เคียงกัน



(ก) ผลการคำนวณกรณีความยาวคลื่นเป็น 1538.8 nm

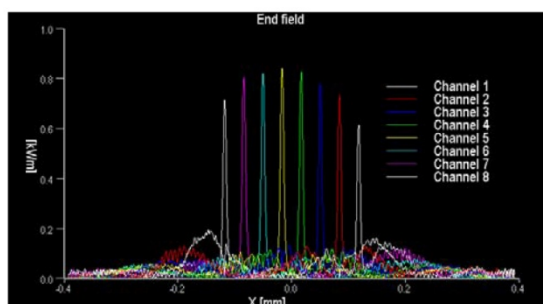


(ข) ผลการคำนวณกรณีความยาวคลื่นเป็น 1551.6 nm

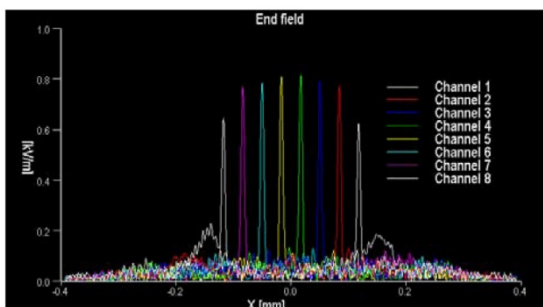
**รูปที่ 6** การกระจายตัวของแสงในการแสดงผลแบบ intensity mode ในกรณีที่ค่าความยาวคลื่นแตกต่างกัน

โดยรูปที่ 7 เป็นรูปที่เปรียบเทียบสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่นของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบและอุปกรณ์ AWG ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ จากรูปพบว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถทำหน้าที่เป็น demultiplexers ที่สามารถแยกสัญญาณแสงในตำแหน่งที่ได้ทำการออกแบบอย่างแม่นยำ และความเข้มของสนามไฟฟ้า

สูงสุดที่ได้จากทุกๆ ช่องสัญญาณขาออกยังมีค่าใกล้เคียงกัน



(ก) อุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ

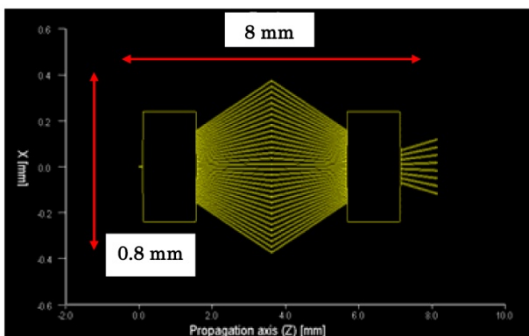


(ข) อุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการออกแบบ

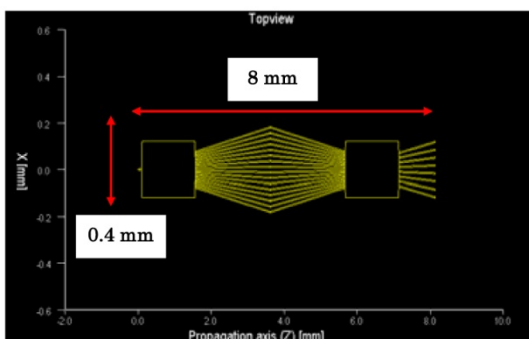
**รูปที่ 7** สเปกตรัมของสนามไฟฟ้าที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบและโครงสร้างที่ออกแบบทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่น

และรูปที่ 8 เป็นรูปที่เปรียบเทียบขนาดของอุปกรณ์ AWG ทั้งสองแบบ จากรูปพบว่าอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้จะมีขนาดเล็กถึง 50% ของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ โดยผู้วิจัยสามารถลดความสูงของอุปกรณ์จาก 0.8 mm เป็น 0.4 mm ในขณะที่ความยาวของอุปกรณ์ AWG ของทั้งสองโครงสร้างมีความยาวเท่ากันคือ 8 mm ซึ่งค่าความสูงที่ลดได้นั้นเกิดจากการลดจำนวน waveguide ในบริเวณกลุ่ม arrayed waveguide นั้นเอง

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเชิงแสงในรูปแบบของ insertion loss และ crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ทั้งสอง ซึ่งผู้วิจัยพบว่าอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบนั้นมีค่า insertion loss เท่ากับ 1.763 dB และมีค่า crosstalk เท่ากับ -25.179 dB ส่วนอุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการออกแบบนั้นจะมีค่า insertion loss เท่ากับ 2.260 dB และมีค่า crosstalk เท่ากับ -22.565 dB ดังนั้นค่า insertion loss ของ AWG ที่ได้ออกแบบมีค่าสูงกว่า AWG ตัวต้นแบบอยู่มาก ในขณะที่ค่า crosstalk มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งความสูญเสียเชิงแสงที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุจากการที่แสงบางส่วนได้สูญหายไปที่บริเวณรอยต่อระหว่าง FPR 1 กับกลุ่มของ arrayed waveguide ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



(ก) อุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ



(ข) อุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการออกแบบ

รูปที่ 8 ขนาดของตัวอุปกรณ์ AWG ทั้งสองโครงสร้าง

### 3.2 การออกแบบเพื่อปรับลดความสูญเสียเชิงแสงที่เกิดจากการปรับขนาดทางกายภาพของอุปกรณ์ AWG

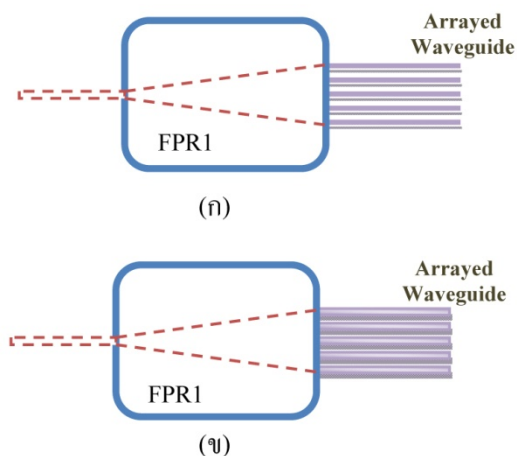
จากหัวข้อ 3.1 อุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการลดขนาดทางกายภาพของอุปกรณ์นั้น จะมีการสูญเสียเชิงแสงสูงกว่าอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบโดยเฉพาะในส่วน of ค่า insertion loss ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ใหม่เพื่อลดค่าความสูญเสียเชิงแสงดังกล่าว ทำให้อุปกรณ์ AWG ที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยผู้วิจัยมีแนวคิดที่ว่าถ้าแสงที่กระจายตัวอย่างอิสระในบริเวณ FPR 1 สามารถเดินทางเข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้มากขึ้น ค่า insertion loss จะลดน้อยลง โดยงานวิจัยในส่วนนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ดังแสดงในหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2

#### 3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของความกว้างของ waveguide ในกลุ่ม arrayed waveguide ที่มีต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของอุปกรณ์ AWG

จากการพิจารณากลุ่ม arrayed waveguide พบว่ามีช่องว่างระหว่าง waveguide แต่ละเส้น โดยช่องว่างเหล่านี้ทำให้เกิดความสูญเสียเชิงแสงเนื่องจากแสงไม่สามารถเดินทางในช่องว่างดังกล่าวได้ ดังนั้นหากเราสามารถลดช่องว่างระหว่าง waveguide ด้วยการเพิ่มขนาดของ waveguide แต่ละเส้นดังแสดงในรูปที่ 9 ก็จะช่วยให้ค่า insertion loss ของ AWG ลดลง เนื่องจากแสงสามารถเดินทางเข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้มากยิ่งขึ้น

โดยในขั้นตอนนี้จะมีการปรับค่าความกว้างของ waveguide แต่ละเส้นเป็น 6, 7, 8, 9, 10, และ 11  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ โดยความกว้างเท่ากับ 6  $\mu\text{m}$  เป็นความกว้างของโครงสร้าง AWG ตัวต้นแบบ

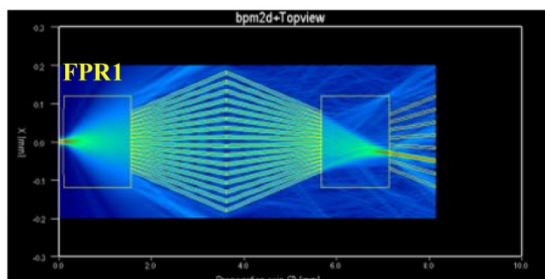
นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ความยาวคลื่นแสงและตัวแปรอื่นๆ เหมือนกับในหัวข้อ 3.1 ซึ่งในกรณีที่ความกว้างของ waveguide เท่ากับ 7, 8 และ 9  $\mu\text{m}$  นั้นแสงจะมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกันโดยการแทรกสอดแบบเสริมกันของสัญญาณแสงจะเกิดในตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) แต่ลักษณะการกระจายตัวของแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในกรณีที่ความกว้างของ waveguide เป็น 10 และ 11  $\mu\text{m}$  เนื่องจากการแทรกสอดแบบเสริมกันของสัญญาณแสงบริเวณช่องสัญญาณขาออกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์



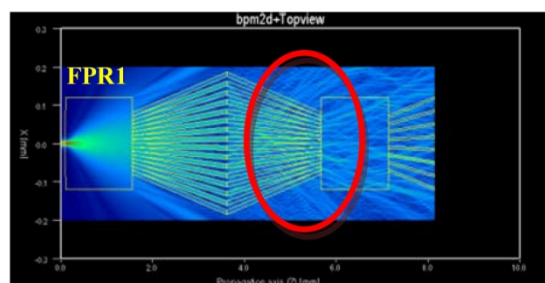
รูปที่ 9 เปรียบเทียบช่องว่างระหว่างอาร์เรย์เวฟไกด์แต่ละเส้น (ก) ไม่มีการปรับเพิ่มค่าความกว้างเวฟไกด์ (ข) ปรับเพิ่มค่าความกว้างเวฟไกด์ให้มากขึ้น

รูปที่ 11 แสดงผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของการวิจัยในส่วนนี้ โดยในกรณีที่เพิ่มความกว้างของ waveguide จาก 6  $\mu\text{m}$  เป็น 7 และ 8  $\mu\text{m}$  นั้นความเข้มสูงสุดของสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงเล็กน้อยเมื่อนาของ waveguide เพิ่มขึ้น 9

$\mu\text{m}$  หลังจากนั้นค่าความเข้มสูงสุดของสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความกว้างของ waveguide เพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 11  $\mu\text{m}$  เนื่องจากการเกิด coupling loss ระหว่าง waveguide แต่ละเส้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

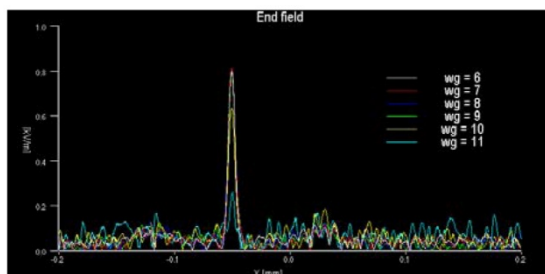


(ก) ความกว้างเวฟไกด์ เท่ากับ 8  $\mu\text{m}$



(ข) ความกว้างเวฟไกด์ เท่ากับ 11  $\mu\text{m}$

รูปที่ 10 ภาพการกระจายตัวของแสงที่ความกว้างเวฟไกด์มีค่า 8  $\mu\text{m}$  และ 11  $\mu\text{m}$



รูปที่ 11 ผลการคำนวณสเปกตรัมของสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกโดยเปรียบเทียบทั้ง 6 ค่าความกว้าง

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกในกรณีที่เพิ่มความกว้างของ waveguide จาก 6  $\mu\text{m}$  เป็น 7  $\mu\text{m}$  ถึง 11  $\mu\text{m}$  ซึ่งจากตารางพบว่าในกรณีที่ความกว้างของ waveguide เป็น 8  $\mu\text{m}$  ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดมีค่ามากที่สุดและมีค่าเท่ากับ 810.74 V/m ดังนั้นความกว้าง 8  $\mu\text{m}$  จึงเป็นค่าความกว้างของ waveguide ที่เหมาะสมที่สามารถรองรับแสงที่เดินทางมาจาก FPR 1 ได้เพิ่มมากขึ้น โดยที่การเกิด coupling loss ระหว่าง waveguide แต่ละเส้นยังไม่เกิดขึ้น

**ตารางที่ 2** ค่าความเข้มแสงสูงสุดทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกกรณีที่เปลี่ยนความกว้างของ waveguide

| ความกว้างเวฟไกด์ ( $\mu\text{m}$ ) | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ความเข้มแสงสูงสุด (V/m)            | 808.04 | 810.74 | 801.34 | 633.96 | 260.07 |

3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณ FPR 1 ที่มีผลต่อความเข้มสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของอุปกรณ์ AWG

จากการพิจารณาธรรมชาติของแสงพบว่าเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันแสงจะเกิดการหักเห โดยเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูงไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าแสงจะเบนออกจากเส้นปกติ (ลู่ออก) ในทางกลับกันถ้าแสงเดินทางจากบริเวณที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าแสงจะเบนเข้าสู่แนวเส้นปกติ (ลู่ออก) [6]

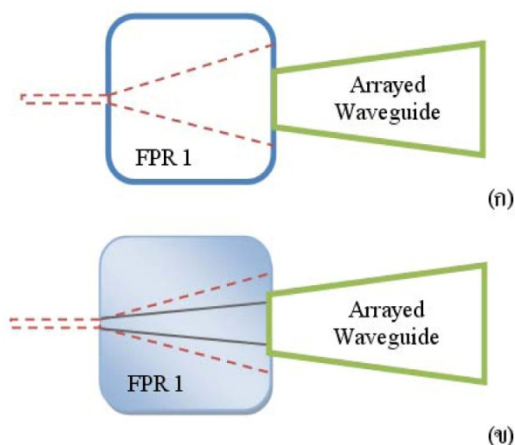
ดังนั้นหากเพิ่มค่าดัชนีหักเหที่บริเวณ FPR

1 จะทำให้สามารถลดการกระจายตัวของแสงที่เดินทางมาจากช่องสัญญาณขาเข้าภายในบริเวณ FPR 1 ได้ ทำให้แสงสามารถเดินทางเข้าสู่กลุ่ม arrayed waveguide ได้มากยิ่งขึ้น และช่วยให้ค่า insertion loss ที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อระหว่าง FPR 1 และกลุ่ม arrayed waveguide ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 12 เส้นประแสดงแนวการกระจายแบบปกติของแสงส่วนเส้นทึบในรูป 12 (ข) แสดงแนวทางกระจายตัวของแสงเมื่อเดินทางเข้าสู่บริเวณ FPR 1 ที่มีการปรับค่าดัชนีหักเหให้สูงขึ้น

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับเพิ่มค่าดัชนีหักเหในบริเวณของ FPR 1 จาก 1.455 เป็น 1.456, 1.457, 1.458, 1.459 และ 1.460 ตามลำดับ ซึ่งค่าของดัชนีหักเหที่เพิ่มขึ้นนั้น ผู้วิจัยได้มาจากการอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [7] และผู้วิจัยได้ออกแบบขนาดของ waveguide เป็น 8  $\mu\text{m}$  ส่วนตัวแปรอื่น ๆ นั้นได้ใช้ค่าที่ได้ทำการออกแบบจากขั้นตอนที่ผ่านมา และจากผลการคำนวณพบว่าในกรณีที่เพิ่มค่าดัชนีหักเหทั่วบริเวณ FPR 1 ตามขอบเขตดังกล่าวนี้ การกระจายตัวของแสงในทุกกรณีจะมีลักษณะใกล้เคียงกันและสัญญาณแสงก็ยังคงส่งไปยังช่องสัญญาณขาออกที่ตำแหน่งเดิม ซึ่งรูปการกระจายตัวที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับรูป 10 (ก) ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่ได้แสดงผลการคำนวณเพิ่มเติมในส่วนนี้

**ตารางที่ 3** ค่าความเข้มแสงสูงสุดทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกกรณีที่เปลี่ยนค่าดัชนีหักเหของแสงที่บริเวณ FPR 1

| ค่าดัชนีหักเห                 | 1.456  | 1.457  | 1.458  | 1.459  | 1.460  |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด (V/m) | 810.30 | 817.20 | 823.34 | 811.13 | 811.78 |



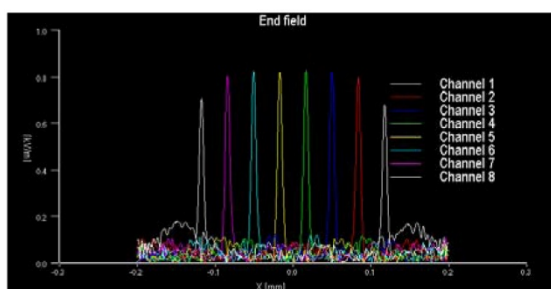
รูปที่ 12 แนวการกระจายตัวของแสง (ก) ไม่มีการปรับค่าดัชนีหักเหของแสง (ข) ปรับค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณ FPR 1 ให้สูงขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงค่าความของสนามไฟฟ้าสูงสุดทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกของแต่ละกรณี จากตารางพบว่าเมื่อค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้นจาก 1.455 เป็น 1.456, 1.457 และ 1.458 นั้น ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดทางฝั่งช่องสัญญาณขาออกจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยในกรณีที่ค่าดัชนีหักเหมีค่าเท่ากับ 1.458 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ค่า 823.34 V/m และค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดลดลงเมื่อค่าดัชนีหักเหเป็น 1.459 และ 1.460 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหที่สูงขึ้นแสงจะเกิดการกระจายตัวน้อยลง จึงสามารถเดินทางเข้าสู่ arrayed waveguide ได้มากขึ้น แต่หากค่าดัชนีหักเหเพิ่มมากเกินไปเช่นในกรณีที่ค่าดัชนีหักเหเป็น 1.459 และ 1.460 นั้น แสงจะถูกบีบให้ลู่เข้าทำให้แสงมีความเข้มมากยิ่งขึ้น และกลับทำให้ปริมาณของแสงที่มีโอกาสหลุดลอดออกไปจากช่องว่างระหว่าง waveguide ในกลุ่ม arrayed waveguide เพิ่มมากขึ้นไปและเป็นที่ทำให้เกิดความสูญเสียเชิงแสงมากขึ้น ดังนั้นความเข้มของสนามไฟฟ้าทางฝั่งช่องสัญญาณ

ขาออกจึงลดลง จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกออกแบบค่าดัชนีหักเหที่บริเวณ FPR 1 ให้มีค่าเท่ากับ 1.458 แทนค่า 1.455 เพื่อใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ AWG ใหม่ในลำดับต่อไป

3.2.3 การทดสอบอุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการปรับเพิ่มความกว้างของ waveguide บริเวณกลุ่ม arrayed waveguide และปรับเพิ่มค่าดัชนีหักเหบริเวณ FPR1 กับความยาวคลื่นแสงทั้ง 8 ค่า

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบใหม่โดยการปรับเพิ่มความกว้างของ waveguide บริเวณกลุ่ม arrayed waveguide จาก 6  $\mu\text{m}$  เป็น 8  $\mu\text{m}$  และปรับเพิ่มค่าดัชนีหักเหที่บริเวณ FPR1 ของอุปกรณ์ AWG จาก 1.455 เป็น 1.458 โดยคงจำนวน arrayed waveguide และความสูงของบริเวณ FPR 1 ให้มีค่าเท่าเดิม และตัวแปรอื่นๆก็ถูกออกแบบให้เหมือนกับอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบในหัวข้อ 3.1.3 ดังนั้นขนาดโดยรวมของอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบจึงไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 13 เสาปคัมของสนามไฟฟ้าที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกทั้ง 8 ช่องของอุปกรณ์ AWG ตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบใหม่

รูปที่ 13 เป็นรูปที่แสดงเสาปคัมของสนามไฟฟ้าที่บริเวณช่องสัญญาณขาออกทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่นของอุปกรณ์ พบว่าถึงแม้ได้ทำการ

ปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในอุปกรณ์ AWG ตามเงื่อนไขดังกล่าวก็ตาม อุปกรณ์ AWG ก็ยังสามารถทำงานเป็น demultiplexer ที่สามารถแยกค่าความยาวคลื่นได้ 8 ค่าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเช่นเดิม

โดยตารางที่ 4 เป็นตารางเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเชิงแสงที่ได้จาก AWG โครงสร้างต่างๆ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบโครงสร้างของ AWG ที่ได้ออกแบบในหัวข้อนี้กับหัวข้อ 3.1 แล้วพบว่าค่า insertion loss มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากค่า insertion loss ได้ลดลงจาก 2.260 dB เป็น 1.749 dB ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบแล้ว ค่า insertion loss ที่ได้จากโครงสร้างที่ออกแบบใหม่ในหัวข้อ 3.2 ยังมีค่าต่ำกว่าอุปกรณ์ตัวต้นแบบอย่างไรก็ตามค่า crosstalk ที่ได้จากการออกแบบของทั้ง 2 กรณีมีค่าที่ใกล้เคียงกันและยังมีค่าสูงกว่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบอยู่บ้าง

**ตารางที่ 4** ตารางเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเชิงแสงที่ได้จาก AWG โครงสร้างต่างๆ

|                              | Insertion Loss (dB) | Crosstalk (dB) |
|------------------------------|---------------------|----------------|
| AWG ตัวต้นแบบ                | 1.763               | -25.179        |
| AWG ที่ได้ออกแบบในหัวข้อ 3.1 | 2.260               | -22.565        |
| AWG ที่ได้ออกแบบในหัวข้อ 3.2 | 1.749               | -22.545        |

#### 4. สรุป

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็กที่ผลิตจากวัสดุซิลิกา โดยเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแยกสัญญาณแสงได้ 8 ค่าความยาวคลื่น ที่มีค่าความยาวคลื่นแตกต่างกัน 3.2 nm และใช้งานในย่านความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1550 nm โดย

ผู้วิจัยใช้อุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบโดยบริษัท C2V เป็น AWG ตัวต้นแบบในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ AWG ที่ผู้วิจัยทำการออกแบบ

ในขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้ทำการปรับลดขนาดจากโครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์ AWG โดยการลดจำนวน arrayed waveguide ให้เป็น 2 เท่าของจำนวนช่องสัญญาณขาออก และกำหนดให้ความสูงของ FPR 1 เป็น 325  $\mu\text{m}$  โดยอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบดังกล่าวมีค่าความสูญเสียเชิงแสงสูงกว่าค่าที่ได้จาก AWG ตัวต้นแบบ โดยเฉพาะในส่วน of ค่า insertion loss

ในขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในของอุปกรณ์เพื่อลดค่าความสูญเสียเชิงแสง โดยยังคงจำนวน arrayed waveguide และความสูงของบริเวณ FPR 1 ให้มีค่าเท่าเดิม แต่ได้เพิ่มความกว้างของ arrayed waveguide จาก 6  $\mu\text{m}$  เป็น 8  $\mu\text{m}$  และเพิ่มค่าดัชนีหักเหบริเวณ FPR 1 จาก 1.455 เป็น 1.458 ซึ่งอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบใหม่นั้นมีค่า insertion loss ลดลงจาก 2.260 dB เป็น 1.749 dB และยังมีค่าต่ำกว่าค่า insertion loss ของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.763 dB อีกด้วย อย่างไรก็ตามในส่วน of ค่า crosstalk นั้นอุปกรณ์ AWG ที่ได้ปรับปรุงโครงสร้างมีค่า crosstalk มีค่าเท่ากับ -22.545 dB และมีค่าสูงกว่าค่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบที่มีค่าเท่ากับ -25.179 dB อยู่บ้าง

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าขนาดของอุปกรณ์ AWG ที่ได้นำเสนอมีขนาดเพียง 50% ของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ โดยผู้วิจัยสามารถลดความสูงของอุปกรณ์จาก 0.8 mm เป็น 0.4 mm ในขณะที่ความยาวของอุปกรณ์ AWG ของทั้งสองโครงสร้างมีค่าเท่ากันคือ 8 mm ซึ่งหากนำอุปกรณ์ AWG ที่ได้ทำการออกแบบไปบรรจุอยู่ในวงจรรวมทางแสงแทนที่อุปกรณ์

AWG ตัวต้นแบบแล้ว ก็จะทำให้สามารถลดขนาดของวงจรรวมทางแสงได้เช่นกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงข้อดีในเรื่องขนาดของอุปกรณ์และประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ตัวต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยคาดหวังว่าโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอจึงเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมที่สามารถการประยุกต์ใช้งานในระบบ WDM ต่อไปในอนาคต

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณสนับสนุนทุนวิจัยของคณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2551

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sugita, A., Kaneko, A., Okamoto, K., Itoh, M., Himeno, A. and Ohmori, Y., 2000, Very low insertion loss arrayed-waveguide grating with vertically tapered waveguides, IEEE Photon. Technol. Lett. 12: 1180-1182.
- [2] Ooba, N., Hibino, Y., Inoue, Y. and Sugita, A., 2000, Athermal silica-based arrayed-waveguide grating multiplexer using bimetal plate temperature compensator, Electron. Lett. 36: 1800-1801.
- [3] Barbarin, Y., Leijtens, X.J.M., Bente, E.A.J.M., Louzao, C.M., Kooiman, J.R. and Smit, M.K., 2004, Extremely small AWG demultiplexer fabricated on InP by using a double-etch process, IEEE Photon. Technol. Lett. 16: 2478-2480.
- [4] Okamoto, K., 2005, WDM Technologies, Vol. 2, Academic Press, New York.
- [5] Amersfoort, M., 1998, Alcatel Optronics Application Notes, Vol. 5.
- [6] Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J., 1993, Fundamentals of Physics: Extended, with Modern Physics, 4th Ed., Wiley, New York.
- [7] Park, J., Chung, Y., Baek, S. and Lee, H.J., 2002, New design for low-loss star couplers and arrayed waveguide grating devices, IEEE Photon. Technol. Lett. 14: 651- 653.