การเพิ่มประสิทธิภาพในการจับแสงของอุปกรณ์ AWG โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของท่อนำคลื่นขาออก

Light Trapping Efficiency Enhancement of AWG Achieved by Changing Structure of Output Waveguides

เจนวิทย์ ทิพย์พินิจ และวีรชัย อัศวเมธาพันธ์*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Janvit Tippinit and Weerachai Asawamethapant*

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering,

Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการจับแสงของอุปกรณ์ 1×8 arrayed waveguide grating (AWG) de-multiplexer ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งขนาดของอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบมีขนาดเพียงครึ่งเดียวของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ โดยวิธีดังกล่าวประกอบด้วยการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกของอุปกรณ์ AWG จากรูปร่างมาตรฐานให้เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างเริ่มต้นของท่อนำคลื่นขาออกเท่ากับ 10 ไมโครเมตร และความกว้างสุดท้ายของท่อนำคลื่นขาออกเท่ากับ 6 ไมโครเมตร หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ปรับเลื่อนตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกให้เข้าไปซ้อนทับบริเวณ free propagation region 2 (FPR2) ด้วยระยะ 155.2 ไมโครเมตร โดยค่าดัชนีหักเหของท่อนำคลื่นขาออกและบริเวณ FPR2 มีค่าเท่ากับ 1.460 และ 1.455 ตามลำดับ จากการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ด้วยวิธีดังกล่าว ทำให้ท่อนำคลื่นขาออกแต่ละท่อมีประสิทธิภาพในการจับแสงสูงขึ้นและยังทำให้สัญญาณแสงที่ไปรบกวนท่อนำคลื่นอื่นๆลดลง ส่งผลให้อุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้มีค่า insertion loss และค่า crosstalk ต่ำกว่าอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบก่อนหน้านี้ โดยมีค่าเท่ากับ 0.11 dB และ -6.80 dB ตามลำดับ นอกจากนี้อุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบนี้ยังมีค่า insertion loss ต่ำกว่าค่าของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ ซึ่งมีค่า insertion loss เท่ากับ 1.26 dB อีกด้วย

คำสำคัญ : arrayed waveguide grating; ประสิทธิภาพในการจับแสง; ค่าลดทอนของสัญญาณ; ค่าการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** aweerach@engr.tu.ac.th

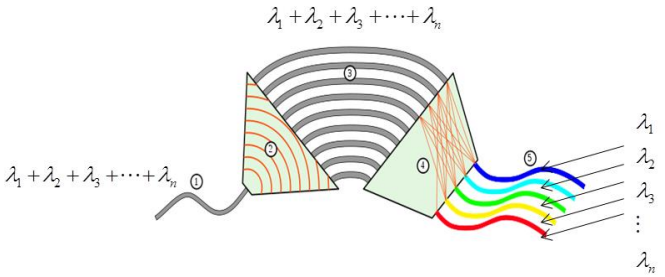
Abstract

This paper presents a method for enhancing the light trapping efficiency of 1×8 small size arrayed waveguide grating (AWG) de-multiplexer. Furthermore, the size of the AWG remains half of that of a traditional AWG. The method involves replacing a traditional output waveguide structure by a taper structure which has start width 10 μm and end width 6 μm. After that, the output waveguides are shifted to overlap with free propagation region 2 (FPR2) with the proper length 155.2 μm. Here, the refractive indices of output waveguides and FPR2 are 1.460 and 1.455, respectively. Through these improvements, the light trapping efficiency of the output waveguides is built up, and the leakage of light to other output waveguides is also reduced. As a result, the insertion loss and crosstalk of our proposed AWG in this work, which are 0.11 dB and -26.80 dB, are lower than those of our previous work. In addition, the insertion loss of this AWG is also lower than that of the traditional AWG which is 1.26 dB.

Keywords: arrayed waveguide grating; light trapping efficiency; insertion loss; crosstalk

1. บทนำ

ระบบการสื่อสารทางแสงนั้น เทคโนโลยี wavelength-division multiplexing (WDM) เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญ เนื่องด้วยเทคโนโลยีนี้สามารถส่งข้อมูลหลายชนิดพร้อม ๆ กันผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว โดยใช้หลักการส่งข้อมูลเป็นความยาวคลื่นของแสง ซึ่งข้อมูลแต่ละข้อมูลจะส่งผ่านความยาวคลื่นของแสงที่ต่างกัน [1] ดังนั้นในเทคโนโลยี WDM จึงต้องอาศัยอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์เชิงแสง ได้แก่ multiplexer, de-multiplexer, filter, amplifier และ switch เป็นต้น เพื่อใช้ปฏิบัติการในโครงข่ายใยแก้วนำแสง [2] โดย arrayed waveguide grating (AWG) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบ WDM ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้ได้ใช้หลักการแทรกสอดของแสง เพื่อทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงที่อยู่รวมกันหลาย ๆ ความยาวคลื่นในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียว ออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆได้มากกว่า 16 ช่องความยาวคลื่น [3] โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ (1) ท่อนำคลื่นขาเข้า (input waveguide) (2) บริเวณฟรีโพรพาเกชัน 1 [free propagation region 1 (FPR1)] (3) กลุ่มอาร์เรย์เวฟไกด์ (arrayed waveguides) (4) บริเวณฟรีโพรพาเกชัน 2 [free propagation region 2 (FPR2)] และ (5) ท่อนำคลื่นขาออก (output waveguide) ดังแสดงในรูปที่ 1



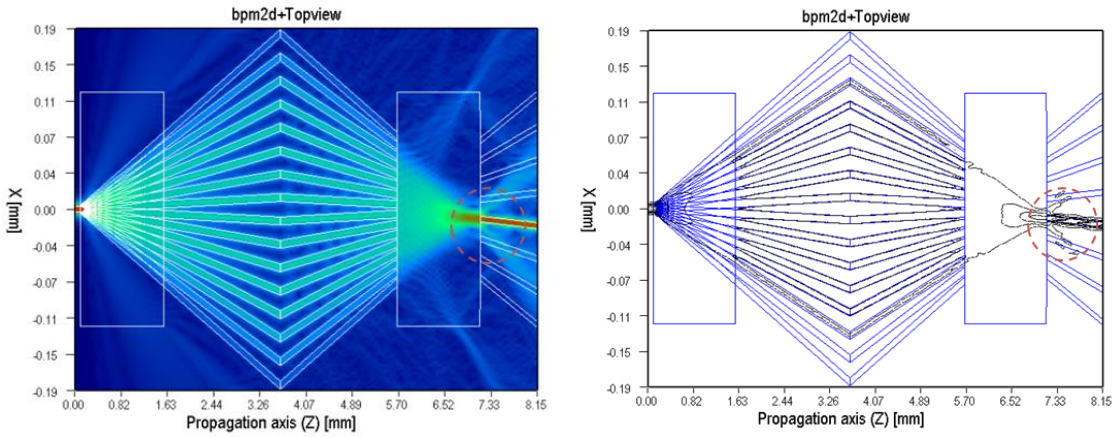
รูปที่ 1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ AWG [10]

โดยส่วนของท่อนำคลื่นขาเข้านั้นทำหน้าที่เป็นทางเดินแสงซึ่งนำสัญญาณแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ เข้าสู่อุปกรณ์ AWG และในส่วนของ FPR1 เป็นส่วนที่ปล่อยให้แสงเกิดการกระจายตัวอย่างอิสระ ต่อมาในส่วนของกลุ่ม arrayed waveguides นั้นทำหน้าที่รับแสงทุก ๆ ค่าความยาวคลื่นที่กระจายตัวจาก FPR1 เพื่อทำให้เกิดความต่างของเฟสของแสงใน waveguide แต่ละเส้นของ arrayed waveguides หลังจากนั้นส่วนของ FPR2 เป็นส่วนที่รับแสงจากกลุ่ม arrayed waveguides และที่ปลายของบริเวณ FPR2 จะเป็นบริเวณที่แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวกันเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันโดยจะมีการไล่ลำดับของความยาวคลื่นจากบนลงล่าง และส่วนสุดท้ายของอุปกรณ์เป็นส่วนของท่อนำคลื่นขาออกที่ทำหน้าที่รองรับสัญญาณแสงที่แทรกสอดแบบเสริมกันจากบริเวณ FPR2 [4]

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัญหาของการใช้งานอุปกรณ์ AWG ได้แก่ ปัญหาเรื่องความสูญเสียเชิงแสงที่มีค่าสูงทั้งค่าลดทอนของสัญญาณ (insertion loss) และค่าการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง (crosstalk) ปัญหาเรื่องขนาดของอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดใหญ่ และปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่ทำให้ค่าดัชนีหักเหของวัสดุเปลี่ยนไปเวลาใช้งาน [5-7] โดยในส่วนของปัญหาเรื่องขนาดของอุปกรณ์ AWG นั้น ผู้วิจัยส่วนใหญ่เลือกที่จะเปลี่ยนวัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์ AWG แทนแก้วซิลิกา เช่น การเลือกใช้สารประกอบกึ่งตัวนำชนิด III-V ในการผลิตอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแก้วซิลิกาเป็นวัสดุที่มีราคาต่ำกว่ารวมทั้งง่ายต่อการผลิตมากกว่าวัสดุชนิดอื่น จึงทำให้อุปกรณ์ AWG ที่ผลิตจากแก้วซิลิกายังคงได้รับความนิยมในการผลิตถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้ในส่วนของการลดค่าความสูญเสียเชิงแสงที่มีค่าสูงนั้น การเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาเข้าและท่อนำคลื่นในบริเวณกลุ่ม arrayed waveguides ก็เป็นวิธีใหม่ที่ได้มีการนำเสนอในช่วงที่ผ่านมา [8]

งานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบโดยบริษัท C2V [9] เป็นอุปกรณ์ตัวต้นแบบในการทำงานวิจัย ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวกำหนดให้แก้วซิลิกาเป็นวัสดุในการผลิต และมีค่า insertion loss และ ค่า cross-talk เท่ากับ 1.26 dB และ -30.08 dB ตามลำดับ ในงานวิจัยที่ผ่านมากลุ่มของผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ให้มีขนาดเล็ก โดยลดจำนวนของ waveguide ในกลุ่ม arrayed waveguides จาก 32 เส้น เป็น 16 เส้น และเพิ่มขนาดของ waveguide แต่ละเส้นให้กว้างขึ้นจาก 6 ไมโครเมตร เป็น 8 ไมโครเมตร เพื่อให้แสงเดินทางเข้าไปใน waveguide ได้มากยิ่งขึ้น [10] ซึ่งเมื่อปรับโครงสร้างดังกล่าวแล้วทำให้ขนาดของอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบมีขนาดเพียงครึ่งเดียวของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ และมีค่า insertion loss และ crosstalk เท่ากับ 1.79 dB และ -23.94 dB ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่า insertion loss และ crosstalk ดังกล่าวยังมีค่าสูงกว่าค่าของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ และในงานวิจัยที่แล้วผู้วิจัยนำเสนอวิธีลดค่าความสูญเสียเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG ที่ขนาดเล็ก โดยการเพิ่ม transmission star couplers (TSC) เข้าไปในส่วนของ FPR1 [11] ซึ่งการเพิ่ม TSC ดังกล่าวนั้น ผู้วิจัยได้สมมุติให้ค่าดัชนีหักเหสามารถปรับเปลี่ยนได้ด้วยวิธีการฉายแสง UV หรือเรียกว่า UV-irradiation [12] โดย TSC จะทำหน้าที่ในการกำหนดแสงให้อยู่ในพื้นที่และทิศทางที่กำหนดไว้ ซึ่งการออกแบบข้างต้นทำให้สัญญาณแสงสามารถถูกส่งไปยังบริเวณท่อนำคลื่นขาออกของตัวอุปกรณ์ AWG ได้มากขึ้น จากงานวิจัยที่แล้วผู้วิจัยสามารถลดค่า insertion loss ของอุปกรณ์เป็น 1.52 dB อย่างไรก็ตาม ค่า crosstalk ของอุปกรณ์กลับเพิ่มสูงขึ้นและมี

ค่าเท่ากับ -21.84 dB เนื่องจากที่บริเวณท่อนำคลื่นขาออกที่พิจารณาเกิดการรั่วไหลของสัญญาณแสงไปยังท่อนำคลื่นขาออกถัดไปมากขึ้น ดังแสดงในบริเวณวงกลมเส้นประในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การรั่วไหลของสัญญาณแสงที่บริเวณท่อนำคลื่นขาออกในกรณีที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร โดยแสดงในแบบ (a) intensity mode และ (b) contour mode [11]

ดังนั้นในบทความนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีลดการรั่วไหลของสัญญาณแสงที่บริเวณท่อนำคลื่นขาออกของอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบในงานวิจัยที่แล้ว โดยการปรับเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกจากรูปร่างมาตรฐานแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมู (taper) เพื่อให้ท่อนำคลื่นขาออกแต่ละท่อสามารถจับสัญญาณแสงได้มากยิ่งขึ้น และทำให้สัญญาณแสงรั่วไหลไปยังท่อนำคลื่นขาออกอื่น ๆ ได้น้อยลง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะของการแทรกสอดของแสงที่บริเวณ FPR2 เพื่อทำการคำนวณหาตำแหน่งที่แสงมีความเข้มแสงสูงสุด หลังจากนั้นตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกได้ถูกปรับเลื่อนเข้าไปซ้อนทับบริเวณ FPR2 ที่ตำแหน่งที่แสงมีความเข้มแสงสูงสุดดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับแสงของท่อนำคลื่นขาออกแต่ละท่อ โดยจากการทำตามวิธีที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจะไม่ทำให้ขนาดโดยรวมของอุปกรณ์ AWG เพิ่มขึ้นจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของอุปกรณ์เท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้ยังคงมีขนาดเพียงครึ่งเดียวของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ

2. ตัวแปรที่ใช้ออกแบบ

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม OlympIOs ในการศึกษาสมบัติของแสงภายในอุปกรณ์ AWG โดยวิเคราะห์จากการเดินทางของแสงในโหมด transverse electric (TE) และกำหนดให้ใช้สัญญาณคลื่นแสงจำนวน 8 ความยาวคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่างกัน 3.2 นาโนเมตร คือ 1.5388, 1.5420, 1.5452, 1.5484, 1.5516, 1.5548, 1.5580 และ 1.5612 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าความยาวคลื่นกลางอยู่ที่ 1.55 ไมโครเมตร ซึ่งตัวแปรพื้นฐานต่างๆได้กำหนดดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ในการคำนวณพฤติกรรมของแสงภายในอุปกรณ์ AWG ของโปรแกรมนี้นั้น ทางโปรแกรมได้ทำการตัดส่วนโค้ง

ตารางที่ 1 ตัวแปรพื้นฐานของอุปกรณ์ AWG สำหรับงานวิจัยนี้

ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ
จำนวน output waveguide = 8 ท่อ
จำนวน waveguide ในบริเวณ arrayed waveguides = 16 เส้น
ผลต่างของค่าความยาวคลื่นของสัญญาณแสง = 3.2 นาโนเมตร
ความยาวคลื่นกลาง = 1.55 ไมโครเมตร
ความสูงของ FPR = 275 ไมโครเมตร
ความกว้างของ waveguide ใน arrayed waveguides = 8 ไมโครเมตร
ระยะห่างระหว่าง waveguide ใน arrayed waveguides = 10 ไมโครเมตร
ระยะโฟกัสของ FPR1 และ FPR2 = 1467 ไมโครเมตร
ดัชนีหักเหของแสงบริเวณ FPR1 และ FPR2 = 1.455
ดัชนีหักเหของแสงบริเวณ TSC = 1.460
ดัชนีหักเหของแสงของกลุ่ม arrayed waveguides = 1.455
ดัชนีหักเหของพื้นหลัง = 1.450

ของ waveguide ในกลุ่ม arrayed waveguides ออกไป แต่ความต่างมุมเฟสของแสงที่เกิดจากส่วนโค้งของ waveguide แต่ละเส้นนั้นได้ทำการคำนวณไว้ด้วยแล้ว ดังนั้นค่าความสูญเสียของแสงที่เกิดจากการงอโค้งของ waveguide (bending loss) จึงไม่ถูกนำมาคิด โดยผู้วิจัยได้เลือกนำเสนอผลการคำนวณ ใน 2 รูปแบบ คือ การนำเสนอแบบแสดงผลการกระจายตัวของแสง (intensity mode) ซึ่งเป็นการนำเสนอเพื่อให้เห็นการกระจายตัวของแสงทั้งหมดทั้งที่เป็นแสงส่วนใหญ่และส่วนน้อย และการนำเสนอแบบแสดงผลการกระจายตัวของแสงส่วนใหญ่ (contour mode) ซึ่งเป็นการนำเสนอเพื่อให้เห็นการกระจายตัวของแสงเฉพาะที่เป็นแสงส่วนใหญ่เท่านั้น การแสดงผลดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของการกระจุกตัวของแสงภายในอุปกรณ์

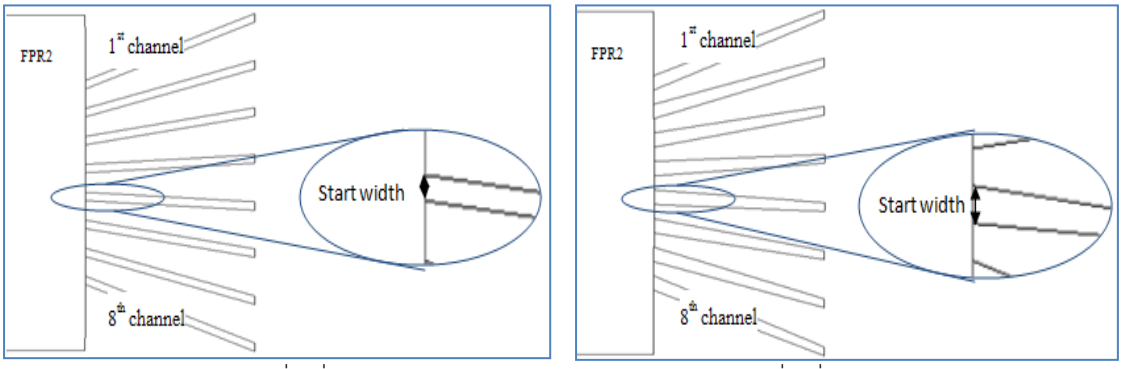
3. ขั้นตอนการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งงานวิจัยเป็นสามส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกที่มีต่อสมบัติเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG ส่วนที่สองเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการแทรกสอดของแสงแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 เพื่อหาตำแหน่งที่มีความเข้มแสงสูงสุด และส่วนที่สามเป็นการศึกษาผลกระทบของการปรับเลื่อนตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกเข้าไปในบริเวณ FPR2 ที่ตำแหน่งที่มีความเข้มแสงสูงสุด โดยผู้วิจัยคาดว่าจากผลการศึกษาทั้งสามขั้นตอน ทำให้สามารถลดค่า insertion loss และ crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ได้ เนื่องจากประสิทธิภาพในการจับแสงที่บริเวณท่อนำคลื่นขาออกแต่ละช่องสูงขึ้น ทำให้การรั่วไหลของสัญญาณแสงไปยังท่อนำคลื่นขาออกถัดไปลดลง

3.1 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกที่มีต่อสมบัติเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG

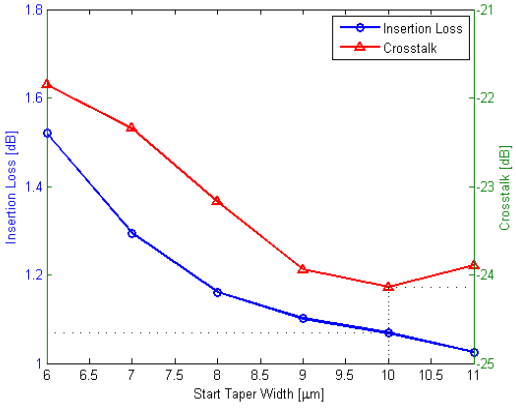
การศึกษาในงานวิจัยที่แล้ว [11] พบว่าการเพิ่ม TSC ที่มีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.460 เข้าไปในส่วนของ FPR1 และ การเพิ่มความกว้างของ waveguide ของกลุ่ม arrayed waveguides เป็น 8 ไมโครเมตร ส่งผลให้แสงเดินทางเข้าไปใน waveguide แต่ละเส้นที่บริเวณกลุ่ม arrayed waveguides มากขึ้น แต่การที่แสงถูกบีบให้แคบลงส่งผลให้จำนวน waveguide ที่แสงส่งผ่านถูกใช้น้อยลง ทำให้การแทรกสอดของแสงไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ขนาดของลำแสงที่รวมตัวกันบริเวณทางเข้าของท่อนำคลื่นขาออกกว้างขึ้น สัญญาณ

แสงที่ถูกส่งไปยังแต่ละท่อนำคลื่นขาออกจึงสามารถรั่วไหลไปยังท่อนำคลื่นถัดไปมากขึ้น ส่งผลให้ค่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกที่มีต่อสมบัติเชิงแสงเพื่อปรับลดค่า crosstalk ของอุปกรณ์ โดยได้เปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกของอุปกรณ์ AWG จากรูปร่างมาตรฐานแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมู (taper) เพื่อเพิ่มความสามารถในการจับแสงของท่อนำคลื่นขาออกให้ได้มากที่สุด และผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนค่าความกว้างเริ่มต้น (start width) จาก 6 ไมโครเมตรเป็น 7, 8, 9, 10 และ 11 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตามความกว้างสุดท้าย (end width) ของท่อนำคลื่นขาออกยังคงมีค่าเท่ากับ 6 ไมโครเมตร



(a) รูปร่างมาตรฐานแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ก่อนปรับ) **(B)** รูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมู (หลังปรับ)

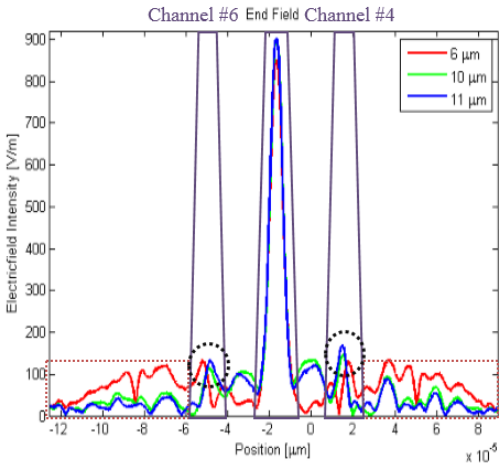
รูปที่ 3 การปรับเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง insertion loss และ crosstalk กับ start width ค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง insertion loss และ crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ในการแยกสัญญาณแสงทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่น (ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 2) กับ start width ค่าต่าง ๆ ของท่อนำคลื่นขาออกที่มีรูปร่างแบบ taper จากรูปเห็นว่าในกรณีที่ความกว้างของ start width เพิ่มขึ้นจาก 6-10 ไมโคร เมตร ค่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG จะมีค่าลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าความกว้างของ start width เป็น 11 ไมโครเมตร จะมีค่า crosstalk สูงขึ้นเนื่องจากความกว้างของ start width มากเกินไป ทำให้ท่อนำคลื่นขาออกใกล้เคียงมีโอกาสที่จะรับแสงจากความยาวคลื่นอื่นๆได้มากขึ้นดังแสดงให้เห็นในวงกลมเส้นประในรูปที่ 5 ซึ่งจากรูปพบว่าในกรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 11 ไมโครเมตร ท่อนำคลื่นขาออกที่ 4 และ 6 (โดยเฉพาะท่อนำคลื่นขาออกที่ 4) สามารถรับสัญญาณแสงที่มีค่า

ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร ที่ต้องถูกส่งไปยังท่อนำคลื่นขาออกที่ 5 ได้มากกว่ากรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 6 และ10 ไมโครเมตร ซึ่งสัญญาณแสงดังกล่าวจะส่งผลให้ค่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG สูงขึ้นอีกครั้ง



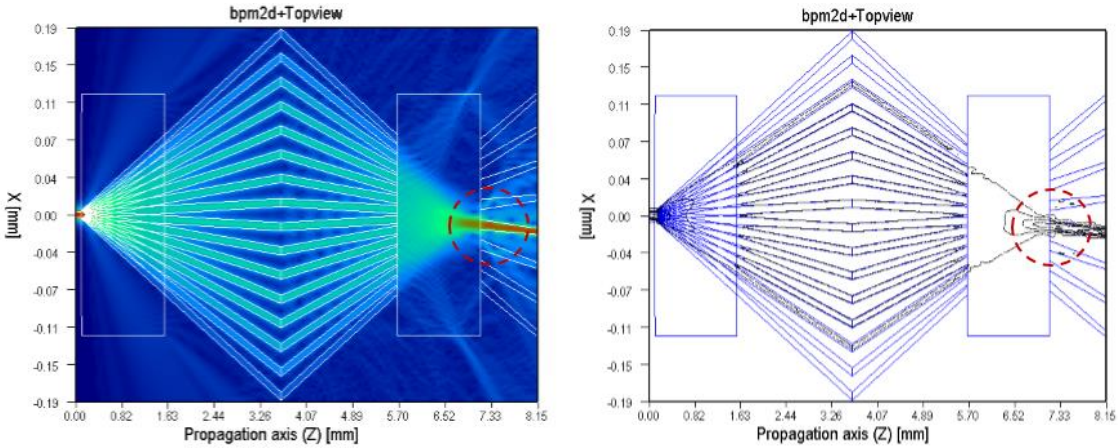
รูปที่ 5 ความเข้มของสนามไฟฟ้าบริเวณท่อนำคลื่นขาออกช่วงที่มีการรบกวนของสัญญาณแสงในกรณีที่ความกว้างของ start width ของ taper เป็น 6, 10 และ 11 ไมโครเมตร โดยความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร

ค่า insertion loss ของอุปกรณ์ AWG นั้นในกรณีที่ความกว้างของ start width มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า insertion loss ต่ำลงเรื่อย ๆ เนื่องจากท่อนำคลื่นขาออกแต่ละท่อสามารถรับสัญญาณแสงได้มากขึ้น และจากรูปที่ 5 พบว่าในกรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 11 ไมโครเมตร ค่าสนามไฟฟ้าของสัญญาณแสงที่ถูกส่งไปในท่อนำคลื่นขาออกที่ 5 จะมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่ความกว้างของ start width ที่มีขนาด 10 ไมโครเมตร ดังนั้นความกว้างของ start width เท่ากับ 10 ไมโครเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่า insertion loss ที่ต่ำและมีค่า crosstalk ต่ำที่สุด โดยในกรณีนี้อุปกรณ์ AWG มีค่า crosstalk และ insertion loss เท่ากับ -24.14 dB และ 1.06 dB ตามลำดับ

นอกจากนี้ หากพิจารณาเพิ่มเติมในบริเวณสี่เหลี่ยมผืนผ้าเส้นประทั้งสองบริเวณในรูปที่ 5 พบว่าในกรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 6 ไมโครเมตร ค่าของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากกรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 10 และ 11 ไมโครเมตร ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าที่สูงในบริเวณดังกล่าว จะกลายเป็นสัญญาณแสงจากท่อนำคลื่นที่ 5 ที่จะไปรบกวนสัญญาณแสงที่ถูกส่งไปยังท่อนำคลื่นขาออกอื่น ๆ นอกเหนือจากท่อนำคลื่นขาออกที่ 4 และ 6 ซึ่งพฤติกรรมของแสงในลักษณะดังกล่าวจะเกิดกับการส่งสัญญาณแสงของทั้ง 8 ความยาวคลื่นแสง ดังนั้นในกรณีที่ความกว้างของ start width เท่ากับ 6 ไมโครเมตร (หรือรูปร่างมาตรฐาน) อุปกรณ์ AWG จะมีค่า crosstalk และ insertion loss สูงสุด

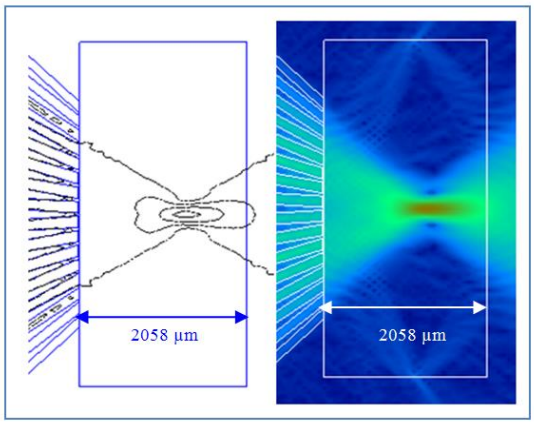
รูปที่ 6 เป็นรูปที่แสดงการกระจายตัวของแสงโดยความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร ซึ่งแสดงในแบบ intensity mode และ contour mode ของอุปกรณ์ AWG ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกให้เป็น taper โดยความกว้างของ start width เท่ากับ 10 ไมโครเมตรซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการจับแสงของท่อนำคลื่นขาออกเพิ่มขึ้น ซึ่งจากรูปพบว่าการเปลี่ยนโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ดังกล่าวทำให้การบานของแสงที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันที่บริเวณทางเข้าของท่อนำคลื่นขาออกหายไป และส่งผลให้สัญญาณแสงที่รั่วไหลไปรบกวนสัญญาณแสงที่ท่อนำคลื่นถัดไปลดต่ำลงอย่างมาก ดังแสดงในบริเวณวงกลม

เส้นประในรูป ดังนั้นการเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกเป็น taper ทำให้ผู้วิจัยสามารถแก้ปัญหาของการรั่วไหลของสัญญาณแสงที่บริเวณท่อนำคลื่นขาออกจากงานวิจัยที่แล้วดังแสดงในรูปที่ 2 ได้



(a) (B)

รูปที่ 6 การกระจายตัวของแสงที่ท่อนำคลื่นขาออกกรณีที่ความกว้างของ start width ของ taper เป็น 10 ไมโครเมตร แสดงใน (a) intensity mode (b) contour mode โดยความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร

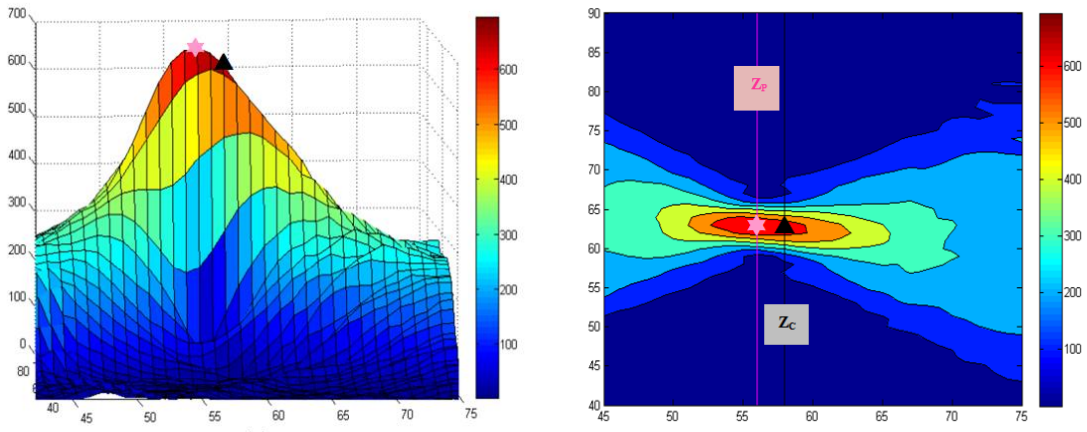


รูปที่ 7 การแทรกสอดและการกระจายตัวของแสงในส่วนของ FPR2 ในกรณีที่เพิ่มความกว้างของ FPR2 เป็น 2058 ไมโครเมตร

3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการแทรกสอดของแสงแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 ของอุปกรณ์ AWG

ขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการแทรกสอดของแสงแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 หลังจากที่ได้มีการเพิ่มส่วนของ TSC เข้าไปในบริเวณ FPR1 [11] และปรับเปลี่ยนโครงสร้างของอุปกรณ์ตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 3.1 ซึ่งจากการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ดังกล่าวจะเกิดผลกระทบกับตำแหน่งของการแทรกสอดของแสงแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 ผู้วิจัยได้เพิ่มความกว้างของ FPR2 จาก 1,467 เป็น 2,058 ไมโครเมตร เพื่อสังเกตลักษณะของการแทรกสอดของแสงในบริเวณดังกล่าว โดยผู้วิจัยพบว่าตำแหน่งของแสงที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันจะมีช่วงของความเข้มสูงสุดและแสดงผลเป็นช่วงสีแดงเข้ม ซึ่งช่วงดังกล่าวแสงจะมีการรวมตัวกันและบีบตัวแคบที่สุด หลังจากนั้นแสงจะค่อย ๆ บานออกและมีค่าความเข้มแสงอ่อนลงไปเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนั้นการพิจารณาถึงค่าของความเข้ม

แสงสูงสุดที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันในบริเวณดังกล่าว จะทำให้ผู้วิจัยสามารถคำนวณหาตำแหน่งของการแทรกสอดของแสงที่มีค่าความเข้มแสงสูงสุดและคำนวณหาตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกที่เหมาะสมหลังจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอุปกรณ์ AWG ตามที่ได้ออกแบบในหัวข้อ 3.1 ได้

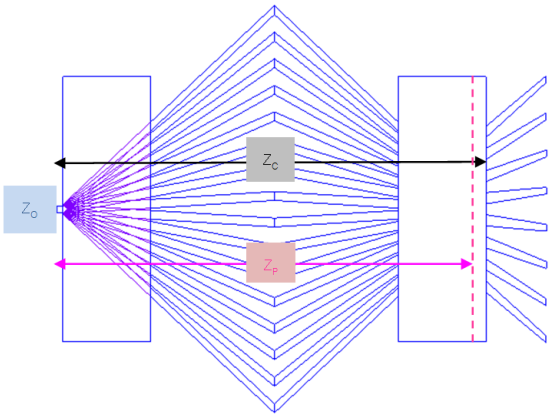


(a) (B)

รูปที่ 8 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงที่เกิดจากการการแทรกสอดแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 โดยแสดงผลในรูปแบบของ (a) surface mode (b) filled contour mode

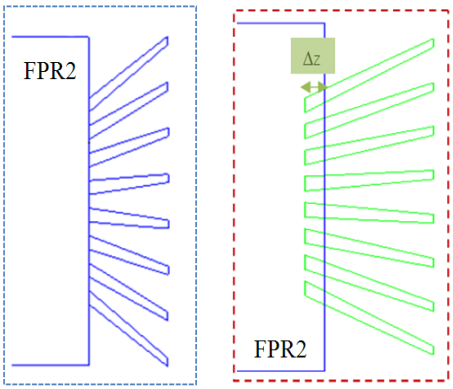
รูปที่ 8a แสดงผลการคำนวณค่าความเข้มแสงที่เกิดจากการการแทรกสอดแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 จากรูปพบว่าช่วงของความเข้มแสงสูงสุดจะเป็นช่วงของสีแดงเข้มที่มีค่าสนามไฟฟ้ามากกว่า 600 V/m โดยค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 694.43 V/m ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวแสดงโดยเครื่องหมายดอกจันสีชมพู นอกจากนี้ตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบและอุปกรณ์ AWG ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ จะอยู่ที่ตำแหน่งที่แสดงโดยเครื่องหมายสามเหลี่ยมสีดำซึ่งมีค่าค่าสนามไฟฟ้าเท่ากับ 657.72 V/m จากผลการคำนวณดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ AWG ตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ส่งผลให้ตำแหน่งที่สัญญาณแสงเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและมีค่าความเข้มแสงสูงสุดเปลี่ยนไป โดยจะมีการเลื่อนตำแหน่งจากตำแหน่งมาตรฐานที่แสดงโดยเครื่องหมายสามเหลี่ยมสีดำไปเป็นตำแหน่งที่แสดงโดยเครื่องหมายดอกจันสีชมพู และเมื่อพิจารณาค่าสนามไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงสีน้ำเงินอ่อนอยู่ที่ 100 ถึง 200 V/m พบว่าการกระจายตัวของแสงตามแนวเส้นสีชมพูที่ตำแหน่ง Z_P มีลักษณะแคบกว่าการกระจายตัวของแสงตามแนวเส้นสีดำที่ตำแหน่ง Z_C ที่เริ่มมีการบานออกของลำแสงเกิดขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยพบว่าตำแหน่งที่มีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดใหม่ที่คำนวณได้นี้อยู่ห่างจากท่อนำคลื่นขาเข้าที่ตำแหน่ง Z = 0 ไมโครเมตร (Z_O) จนถึงแนวเส้นสีชมพูคิดเป็นระยะทาง Z = 6991.8 ไมโครเมตร (Z_P) ซึ่งสั้นกว่าระยะทางเดิมอยู่ที่แนวเส้นสีดำคิดเป็นระยะทาง Z = 7147 ไมโครเมตร (Z_C) ดังแสดงในรูปที่ 9

3.3 การศึกษาผลกระทบของการปรับเลื่อนตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกเข้าไปซ้อนทับบริเวณ FPR2 ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG

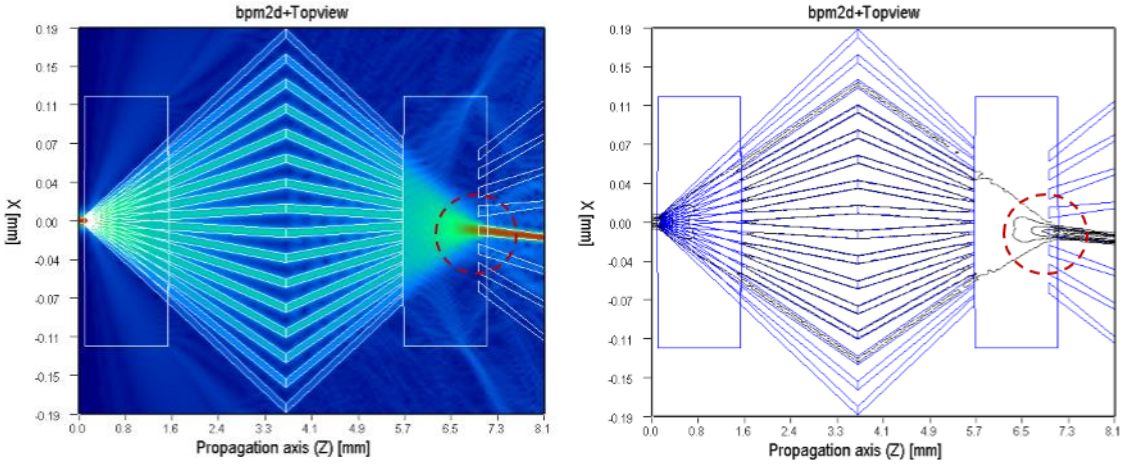


รูปที่ 9 การแทรกสอดและการกระจายตัวของแสงในส่วนของ FPR2 ในกรณีที่เพิ่มความกว้างของ FPR2 เป็น 2058 ไมโครเมตร

การศึกษาในหัวข้อ 3.2 พบว่าค่าความเข้มสูงสุดของการแทรกสอดของแสงที่บริเวณ FPR2 อยู่ที่ตำแหน่ง Z_P ที่มีระยะห่างจากท่อนำคลื่นขาข้าวของอุปกรณ์เท่ากับ 6991.8 ไมโครเมตร โดยมีค่าสนามไฟฟ้าเท่ากับ 694.43 V/m ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับเลื่อนตำแหน่ง waveguide ทุกเส้นของท่อนำคลื่นขาออกเข้ามาภายในบริเวณ FPR2 จากตำแหน่งมาตรฐาน Z_C เป็นตำแหน่งใหม่ Z_P โดยที่ waveguide ทุกเส้นของท่อนำคลื่นขาออกและบริเวณ FPR2 มีการซ้อนทับกันด้วยระยะ ΔZ=155.2 ไมโครเมตรดังแสดงในรูปที่ 10 นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับค่าดัชนีหักเหของ waveguide ทุกเส้นบริเวณท่อนำคลื่นขาออกจาก 1.455 เป็น 1.460 โดยการปรับค่าดัชนีหักเหที่บริเวณนี้ ผู้วิจัยได้สมมุติว่าได้ใช้เทคนิค UV-irradiation [12]



รูปที่ 10 การซ้อนกันระหว่าง FPR2 กับท่อนำคลื่นขาออกเป็นความยาว ΔZ



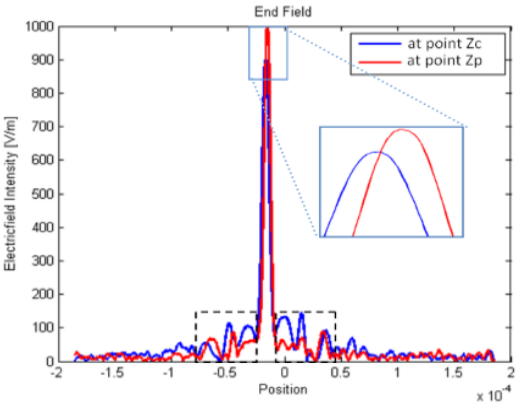
(a) (B)

รูปที่ 11 การกระจายตัวของแสงภายในอุปกรณ์ AWG ในกรณีที่ ΔZ = 155.2 ไมโครเมตร และมีการปรับค่าดัชนีหักเหของท่อนำคลื่นขาออกเป็น 1.460 ในรูปแบบของ (a) intensity mode และ (b) contour mode

ในการปรับค่าดัชนีหักเหเช่นเดียวกับการปรับค่าดัชนีหักเหที่ TSC ในบริเวณ FPR1 ในงานวิจัยที่ผ่านมา [11] ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าการออกแบบในลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้แสงสามารถเดินทางเข้าไปในท่อนำคลื่นขาออกแต่ละช่องได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเลื่อนตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกดังกล่าวส่งผลให้ความระยะห่างระหว่าง waveguide แต่ละช่องของท่อนำคลื่นขาออกลดลงจาก 20 เป็น 18 ไมโครเมตร

รูปที่ 11 แสดงการกระจายตัวของแสงภายในอุปกรณ์ AWG โดยทดสอบกับความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.5516 ไมโครเมตร ในกรณีที่มีการซ้อนทับกันระหว่างท่อนำคลื่นขาออกกับบริเวณ FPR2 ด้วยระยะ ΔZ = 155.2 ไมโครเมตร และมีการปรับค่าดัชนีหักเหของ waveguide ของท่อนำคลื่นขาออกเป็น 1.460 จากรูปพบว่าท่อนำคลื่นขาออกของอุปกรณ์สามารถจับแสงได้มากยิ่งขึ้น สัญญาณแสงสามารถเดินทางในแกนกลางของท่อนำคลื่นได้ดียิ่งขึ้นส่งผลให้การเดินทางของสัญญาณแสงภายในท่อนำคลื่นมีความเรียบมากยิ่งขึ้นอีกด้วย รวมถึงการบานของแสงที่เข้าไปรบกวนสัญญาณแสงที่ท่อนำคลื่นขาออกอื่นๆก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในบริเวณวงกลมเส้นประในรูป ดังนั้นสัญญาณแสงที่รั่วไหลไปยังท่อนำคลื่นขาออกอื่น ๆ จึงมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกันกรณีที่ผ่านมา

รูปที่ 12 พบว่าค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่ท่อนำคลื่นขาออกถูกเลื่อนตำแหน่งมาที่ตำแหน่ง Z_P มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่ของท่อนำคลื่นขาออกไม่ได้ถูกเลื่อนและยังอยู่ที่ตำแหน่งมาตรฐาน Z_C โดยค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 898.62 เป็น 995.12 V/m นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าสนามไฟฟ้าในบริเวณเส้นประรูปสี่เหลี่ยมทั้งสองบริเวณในรูป พบว่าค่าสนามไฟฟ้าของสัญญาณแสงที่สามารถรั่วไหลไปยังท่อนำคลื่นขาออกใกล้เคียงมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นการซ้อนทับกันระหว่างส่วนของท่อนำคลื่นขาออก และบริเวณ FPR2 ด้วยระยะ ΔZ = 155.2 ไมโครเมตร ส่งผลให้ท่อนำคลื่นขาออกสามารถจับสัญญาณแสงที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันในบริเวณ FPR2 ได้มากยิ่งขึ้น

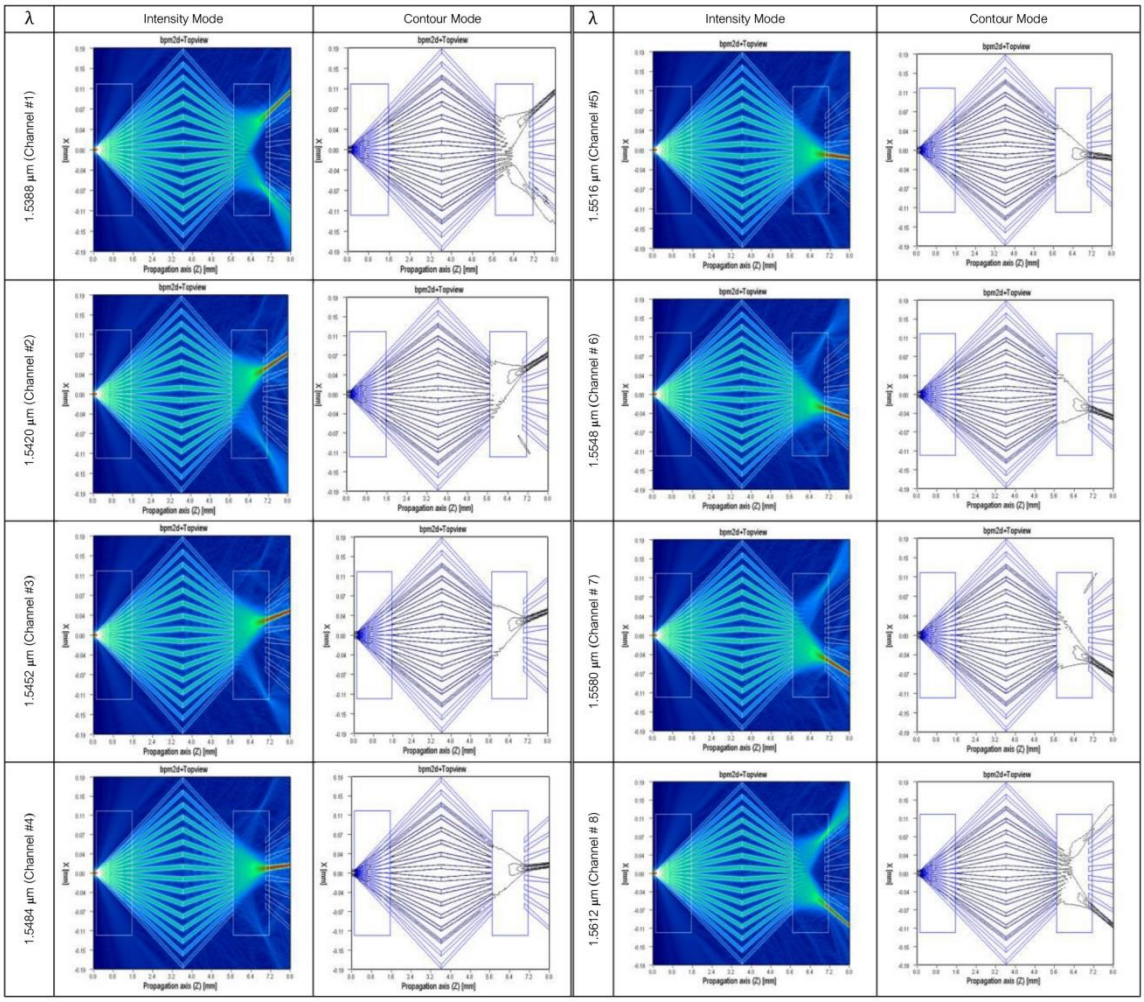


รูปที่ 12 สเปคตรัมของสนามไฟฟ้าในกรณีที่ท่อนำคลื่นขาออกอยู่ที่ตำแหน่ง Z_C และ Z_P

4. การทดสอบประสิทธิภาพของ AWG ที่ได้ทำการออกแบบ

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำผลการศึกษาที่ได้จากหัวข้อ 3.1 ถึง 3.3 มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ 1×8 AWG de-multiplexer ที่มีขนาดเล็กสำหรับงานวิจัยนี้ โดยอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบนั้นมีการปรับเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกให้เป็น taper ที่มีความกว้างของ start width เท่ากับ 10 ไมโครเมตร และความกว้างของ end width เท่ากับ 6 ไมโครเมตร และมีการซ้อนกันระหว่างส่วนของ waveguide ของท่อนำคลื่นขาออกกับบริเวณ FPR2 ด้วยระยะ ΔZ = 155.2 ไมโครเมตร ซึ่งค่าดัชนีหักเหของ waveguide ของท่อนำคลื่นขาออกและบริเวณ FPR2 มีค่าเท่ากับ 1.460 และ 1.455 ตามลำดับ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกแสงของ AWG ที่มีจำนวนของท่อนำคลื่นขา

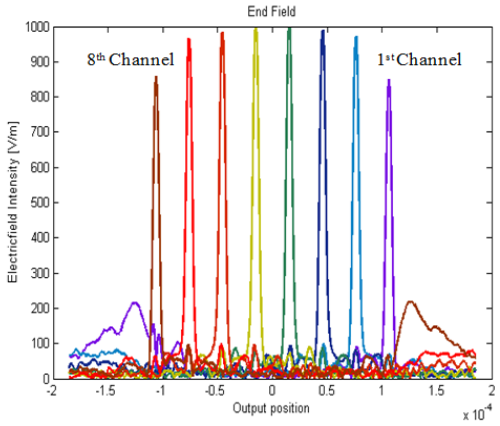
ออกเป็น 8 ท่อนำคลื่น โดยใช้คลื่นแสงจำนวน 8 ความยาวคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่างกัน 3.2 นาโนเมตร ซึ่งได้แก่ความยาวคลื่น 1.5388, 1.5420, 1.5452, 1.5484, 1.5516, 1.5548, 1.5580 และ 1.5612 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบสมบัติเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้กับอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กที่ได้ออกแบบในงานวิจัยที่แล้ว [11] และอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ [9]



รูปที่ 13 การทำงานของอุปกรณ์ 1×8 AWG de-multiplexer ที่มีขนาดเล็กที่ทดสอบกับสัญญาณแสง 8 ค่าความยาวคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่างกัน 3.2 นาโนเมตร โดยแสดงผลในรูปแบบของ intensity mode และ contour mode

รูปที่ 13 พบว่าสำหรับทุกความยาวคลื่นแสงนั้น แสงเกิดการแทรกสอดได้อย่างถูกต้องแม่นยำตามตำแหน่งท่อนำคลื่นขาออกที่กำหนดไว้ ในกรณีที่ความยาวคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 1.5388 ไมโครเมตร แสงจะเกิดการแทรกสอดกันที่ท่อนำคลื่นขาออกช่องที่ 1 ซึ่งอยู่ด้านบนสุด (1st channel) และในกรณีที่ความยาว

คลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 1.5612 ไมโครเมตร แสงจะเกิดการแทรกสอดกันที่ช่องขาออกท่อที่ 8 ซึ่งอยู่ด้านล่างสุด (8th channel) โดยผู้วิจัยพบว่าประสิทธิภาพในการจับแสงของท่อนำคลื่นขาออกทุกท่อนำคลื่นเพิ่มสูงขึ้น และไม่มีการบานตัวออกของสัญญาณแสงที่บริเวณทางเข้าของท่อนำคลื่นขาออกที่ถูกเลื่อนตำแหน่งมาซ้อนกับบริเวณ FPR2 อีกด้วย นอกจากนี้การรวมตัวกันของสัญญาณแสงของแต่ละความยาวคลื่นก็เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สัญญาณแสงที่เดินทางผ่านท่อนำคลื่นขาออกแต่ละช่องยังมีความเรียบมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการรบกวนกันของสัญญาณแสงในแต่ละท่อนำคลื่นขาออกจึงมีค่าลดลงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา



รูปที่ 14 เสปคตรัมของสนามไฟฟ้าของอุปกรณ์ 1×8 AWG de-multiplexer ที่มีขนาดเล็กที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้

รูปที่ 14 เป็นรูปที่แสดงเสปคตรัมของสนามไฟฟ้าที่เดินทางผ่านท่อนำคลื่นขาออกเมื่อใช้งานกับทั้ง 8 ค่าความยาวคลื่นของอุปกรณ์ AWG ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้ จากรูปพบว่าถึงแม้ผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ AWG ตามเงื่อนไขดังกล่าวก็ตาม อุปกรณ์ AWG ก็ยังสามารถทำงานเป็น de-multiplexer ที่สามารถแยกค่าความยาวคลื่นทั้ง 8 ค่า ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเหมือนอุปกรณ์ตัวต้นแบบของงานวิจัยนี้ โดยสัญญาณแสงที่ส่งไปยังท่อนำคลื่นขาออกช่องที่ 1 ซึ่งอยู่ด้านบนสุด (1st channel) จะเป็นเสปคตรัมทางด้านขวามือสุด และสัญญาณแสงที่ส่งไปยังท่อนำคลื่นขาออกช่องที่ 8 ซึ่งอยู่ด้านล่างสุด (8th channel) จะเป็นเสปคตรัมทางด้านซ้ายมือสุดตามลำดับ

นอกจากนี้ตารางที่ 2 เป็นตารางเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเชิงแสงในส่วนของ insertion loss และ crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

(1) กรณีที่ 1 เป็นอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบที่ออกแบบโดยบริษัท C2V

(2) กรณีที่ 2 เป็นอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กที่ได้ออกแบบในงานวิจัยที่แล้ว

(3) กรณีที่ 3 เป็นอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเชิงแสงของอุปกรณ์ AWG ที่มีจำนวนท่อนำคลื่นขาออกเป็น 8 ท่อนำคลื่นตามโครงสร้างในกรณีต่าง ๆ

Structure	Insertion Loss (dB)	Crosstalk (dB)
กรณีที่ 1	1.26	-30.08
กรณีที่ 2	1.52	-21.84
กรณีที่ 3	0.11	-26.80

ตารางที่ 2 พบว่าอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างในกรณีที่ 3 มีค่า insertion loss ต่ำกว่าค่าของอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างในกรณีที่ 2 โดยผู้วิจัยสามารถลดค่า insertion loss จาก 1.52 dB ให้มีค่าเท่ากับ 0.11 dB ตามลำดับ โดยค่า insertion loss ของอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ยังมีค่าต่ำกว่าค่า insertion loss ของอุปกรณ์ AWG ใน

โครงสร้างของกรณีที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ 1.26 dB อีกด้วย นอกจากนี้ ค่า crosstalk ของอุปกรณ์ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ -26.80 dB ซึ่งมีค่าลดลงต่ำกว่าค่าของอุปกรณ์ AWG ที่มีโครงสร้างในกรณีที่ 2 ที่มีค่า crosstalk เท่ากับ -21.84 dB อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่า crosstalk ของอุปกรณ์ตัวต้นแบบในกรณีที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ -30.08 dB พบว่า crosstalk ของอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ยังมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ 1×8 AWG de-multiplexer ที่ผลิตมาจากวัสดุแก้วซิลิกาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งอุปกรณ์ AWG ที่ออกแบบนี้สามารถแยกค่าความยาวคลื่น 8 ค่าความยาวคลื่น โดยมีค่าความต่างของความยาวคลื่นเป็น 3.2 นาโนเมตร และมีค่าความยาวคลื่นกลางอยู่ที่ 1.55 ไมโครเมตร ผู้วิจัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจับแสงของอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็ก จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในของอุปกรณ์เพื่อลดการรั่วไหลของแสงที่บริเวณทางเข้าของท่อนำคลื่นขาออกแต่ละช่อง โดยเริ่มจากการปรับเปลี่ยนรูปร่างของท่อนำคลื่นขาออกให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างของ start width เท่ากับ 10 ไมโครเมตร และความกว้างของ end width เท่ากับ 6 ไมโครเมตร จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ท่อนำคลื่นขาออกทุกท่อสามารถจับแสงได้มากขึ้น ส่งผลให้สัญญาณแสงสามารถเดินทางเข้าในท่อนำคลื่นขาออกแต่ละท่อได้มากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลื่อนตำแหน่งของท่อนำคลื่นขาออกเข้าไปซ้อนทับบริเวณ FPR2 ด้วยระยะ 155.2 ไมโครเมตร เพื่อให้ทางเข้าของท่อนำคลื่นขาออกย้ายมาอยู่ตำแหน่งของการแทรกสอดของแสงที่มีค่าความเข้มแสงสูงสุดในบริเวณ FPR2 และได้ปรับเปลี่ยนค่าดัชนีหักเหของท่อนำคลื่นขาออกจาก 1.455 เป็น 1.460 โดยการใช้เทคนิค UV-irradiation ซึ่งการออกแบบตามวิธีดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการจับแสงของท่อนำคลื่นขาออกทุกช่องเพิ่มสูงขึ้นยิ่งขึ้นไปอีก และทำให้ไม่มีการบานตัวออกของสัญญาณแสงอีกด้วย

ผู้วิจัยพบว่าถึงแม้ได้ทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ AWG ตามเงื่อนไขดังกล่าวก็ตาม อุปกรณ์ AWG ก็ยังสามารถทำงานเป็น de-multiplexer ที่สามารถแยกค่าความยาวคลื่นทั้ง 8 ค่า ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเหมือนอุปกรณ์ตัวต้นแบบของงานวิจัยนี้ โดยในกรณีที่ความยาวคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 1.5388 ไมโครเมตร แสงจะเกิดการแทรกสอดกันที่ท่อนำคลื่นขาออกท่อที่ 1 ซึ่งอยู่ด้านบนสุด และในกรณีที่ความยาวคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 1.5612 ไมโครเมตร แสงจะเกิดการแทรกสอดกันที่ท่อนำคลื่นขาออกท่อที่ 8 ซึ่งอยู่ด้านล่างสุดตามลำดับ นอกจากนี้การรวมตัวกันของสัญญาณแสงของทุกๆความยาวคลื่นก็เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สัญญาณแสงที่เดินทางผ่านท่อนำคลื่นขาออกทั้ง 8 ท่อนำคลื่น ยังมีความเรียบมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การรบกวนกันของสัญญาณแสงในแต่ละท่อนำคลื่นขาออกลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยสามารถลดค่า insertion loss และ crosstalk ของอุปกรณ์ AWG จากงานวิจัยที่แล้วให้มีค่าเท่ากับ 0.11 dB และ -26.80 dB ตามลำดับ โดยค่า insertion loss ของอุปกรณ์ AWG ในงานวิจัยนี้ยังมีค่าที่ต่ำกว่าอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบซึ่งมีค่า insertion loss เท่ากับ 1.26 dB อีกด้วย นอกจากนี้อุปกรณ์ AWG ที่ได้ออกแบบโดยงานวิจัยนี้มีขนาดเพียงครึ่งเดียวของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ ดังนั้นต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ AWG ดังกล่าวจะมีราคาถูกกว่าต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบ เนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ AWG ที่ได้จากกระบวนการผลิต 1 ครั้ง จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นสองเท่า อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยยังไม่สามารถลดค่า crosstalk ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของอุปกรณ์ AWG ตัวต้นแบบได้ ซึ่งผู้วิจัยจะทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการประยุกต์ใช้แนวคิดในการลดค่า crosstalk ให้ได้ดียิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

6. รายการอ้างอิง

[1] Zheng, J. and Mouftah, H.T., 2004, Optical WDM Networks: Concepts and Design Principles, John Wiley & Sons, Inc., New York, 299 p.

[2] Lee, T.P., 1994, Current Trends in Integrated Optoelectronics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 139 p.

[3] Kenichi Iga, Y.K., 2006, Encyclopedic Handbook of Integrated Optics, Taylor & Francis Group, United kingdom, 495 p.

[4] Smit, M.K., 1996, PHASAR-Based WDM-Devices: Principles, Design and Applications, Quantum Electronics, IEEE J. 2(2): 236-250.

[5] Friberg, A.T. and Dändliker, R., 2008, Advances in Information Optics and Photonics, SPIE Press, Washington, D.C., 724 p.

[6] Okamoto, K., 2010, Fundamentals of Optical Waveguides, Academic Press, San Diego, C.A., 555 p.

[7] 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.

[8] Ye, T., Fu, Y., Qiao, L. and Chu, T., 2014, Low-crosstalk Si arrayed waveguide grating with parabolic tapers, Opt. Express 22(26): 8 p.

[9] Amersfoort, M., 1998, Arrayed Waveguide Grating: Design, simulation and layout using OlympIOs (OlympIOs Integrated Optics Software, 22 p.

[10] สาวิตรี ชาญชัยศิลป์ และวีรชัย อัศวเมธาพันธ์, 2555, การออกแบบอุปกรณ์ AWG ที่มีขนาดเล็กสำหรับระบบ WDM, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 20(4): 279-292.

[11] เจนวิทย์ ทิพย์พินิจ และวีรชัย อัศวเมธาพันธ์, 2557, การลดค่าลดทนของสัญญาณของอุปกรณ์ AWG โดยการเพิ่ม TSC ในบริเวณ FPR1, ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22(4): 591-604.

[12] 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.