รายงานสรุปการวิจัยประจำปี 2541

ในเรื่อง

ท่อนำแสงที่สร้างบนสารซิลิกอน

(Optical Waveguides Manufactured on Silicon Substrate)

โดย

นาย สุริภณ สมควรพาณิชย์

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ท่อนำแสงที่สร้างบนสารซิลิกอน

(Optical Waveguides Manufactured on Silicon Substrate)

ตามที่ได้รับทุนการวิจัยผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัยให้ดำเนินการวิจัยในเรื่องท่อนำแสงที่สร้างบนสารซิลิกอนนั้น บัดนี้ได้ครบวาระที่ต้องส่งรายงาน จึงขอสรุปการวิจัยในรายงานฉบับนี้ในเรื่องของขั้นตอนที่ทำ สิ่งที่ได้รับ และบทสรุปการวิจัยมาดังข้างล่างนี้

ขั้นตอนการทำวิจัย และปัญหาที่เกิดขึ้น

โครงการวิจัยนี้ได้เริ่มขั้นตอนในการวิจัยโดยมีนโยบายว่าจะเริ่มต้นการทำงาน ด้วยการออกแบบท่อนำแสงพร้อมกับวิเคราะห์หาคุณสมบัติการตอบสนองของสัญญาณแสง เมื่อเสร็จแล้วจึงมาสร้างอุปกรณ์จริงขึ้นมา พร้อมกับนำอุปกรณ์นั้นมาตรวจสอบเทียบหาคุณสมบัติการตอบสนองอีกที เพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ใช้ในตอนแรก เมื่อพอใจในผลการตรวจสอบแล้วจึงเปลี่ยนมาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตัวอื่นต่อไปจนกระทั่งได้อุปกรณ์รวมทางแสง (Integrated Optics, IO)

ในตอนต้นของโครงการ จึงได้เริ่มทำการออกแบบและวิเคราะห์ Optical Waveguide อย่างง่ายที่อยู่ในโครงสร้างของ Slab Waveguide จึงได้ดำเนินการขอใช้เครื่องมือในศูนย์วิจัยทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยสร้างท่อนำแสงตามโครงสร้างที่ออกแบบมา แต่ทว่าทางศูนย์วิจัยฯ มีงานเร่งอื่นที่ทำร่วมกับทาง NECTECที่จะต้องทำการติดตั้งเครื่องมือขนาดใหญ่ใหม่ พร้อมกับทำการปรับปรุงสถานที่ด้วย จึงทำให้ต้องเลื่อนการสร้างท่อนำแสง ดังกล่าวออกไปโดยไม่สามารถกำหนดวันได้ ซึ่งถ้าทำตามนโยบายที่ตั้งไว้ก่อนหน้านี้แล้ว ก็จำเป็นต้องรอจนกว่าทางศูนย์ฯ จะพร้อมที่จะสร้างให้ซึ่งจะเป็นการเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ โดยระหว่างการรอขอใช้เครื่องมือนี้ ก็ได้เตรียมระบบการทดสอบท่อนำแสงไปด้วย โดยคาดว่าเมื่ออุปกรณ์สร้างเสร็จก็สามารถที่จะนำมาทดสอบได้ทันที

ฉะนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้เปลี่ยนขั้นตอนดำเนินการทำวิจัยโดย แทนที่จะทำการออกแบบพร้อมกับสร้างและทดสอบท่อนำแสงแต่ละแบบเป็นตัวๆไป ก็จะหันมาทำการออกแบบโครงสร้างของท่อนำแสงแบบต่างๆที่สำคัญทั้งหมดในโครงการที่สามารถจะทำได้ พร้อมกับทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติการตอบสนองทางแสง และ จะได้นำเอาคุณลักษณะดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์ทาง Opto-electronics ได้ แล้วจึงมาสร้างและทดสอบภายหลังจากที่ทางศูนย์วิจัยพร้อมจะดำเนินการยืมเครื่องมือในการสร้างอุปกรณ์เหล่านี้

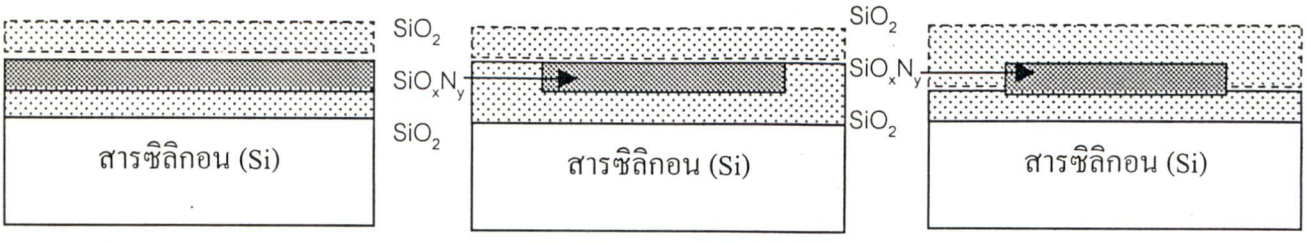
RCH
TK
5103.59
ส862ร
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32379
วัน, เดือน, ปี 19 เม.ย. 2542

T032379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23 มี.ค. 2542

โครงสร้างและการสร้างอุปกรณ์



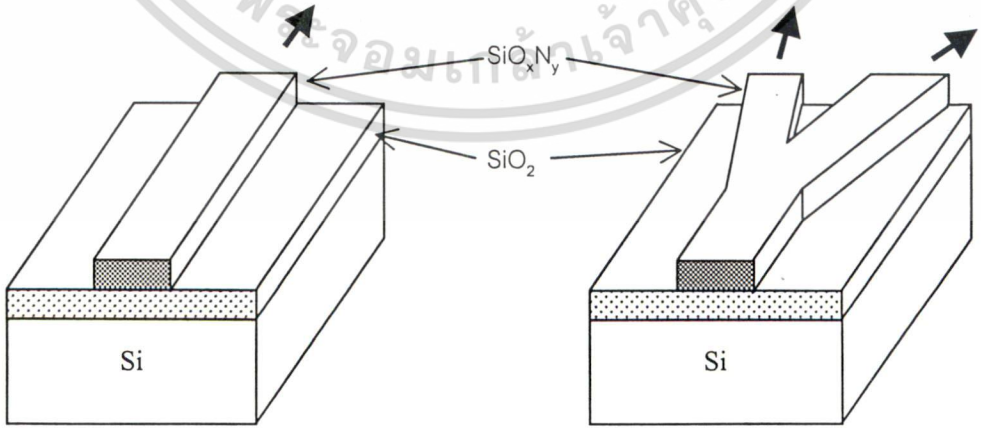
รูปที่1 ท่อนำแสงโครงสร้างง่าย ที่ถูกสร้างอยู่บนสารซิลิกอน

ท่อนำแสงที่ถูกสร้างอยู่บนสารซิลิกอน จะมีโครงสร้างง่ายๆ ดังแสดงในรูปที่1 ข้างบน โดยจะForm ชั้นของ SiO_2 (Silicon Dioxide) และ SiO_xN_y (Silicon Oxynitride) บนสารซิลิกอนตามลำดับ ซึ่งอาจจะปิดส่วนบนสุดด้วย SiO_2 หรือปล่อยให้เป็นอากาศก็ได้ โดยชั้นของ SiO_2 ($n = 1.47$) และ SiO_xN_y ($n = 1.5 \sim 2.0$) จะทำอย่างที่เป็น Cladding และ Core ของ ท่อนำแสง ตามลำดับ

สำหรับการสร้างชั้นของ SiO_2 สามารพทำได้ด้วยการ Wet thermal process ส่วนการสร้างของชั้น SiO_xN_y นั้นสามารถทำได้โดยการผ่านการ SiH_4 N_2 และ O_2 บน Substrate ของ SiO_2 ด้วยวิธีการของ Plasma-enhanced Chemical vapour deposition (CVD) หรือ โดยการผ่านการ Si Cl_2H_2 NH_3 และ O_2 บน Substrate ของ SiO_2 ด้วยวิธีการของ Low-pressured CVD

อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ

เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างที่เป็นไปได้ของท่อนำคลื่นแสงแล้ว สามารถที่จะออกแบบอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้โครงสร้างดังกล่าวได้ดังนี้



2.1) 1:1 waveguide 2.2) 1:n waveguide

รูปที่2 ท่อนำแสงโครงสร้างง่าย ที่ถูกสร้างอยู่บนสารซิลิกอน

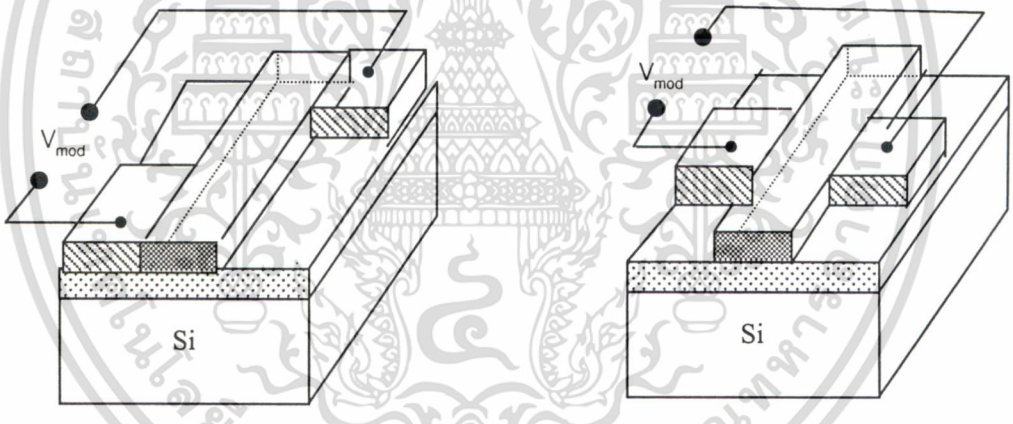
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ท่อนำคลื่นทั่วไป ใช้เป็นเส้นทางที่เชื่อม/ส่ง สัญญาณแสงระหว่างตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ภาย ใน Integrated Optics ต่าง ๆ มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1

1.1) 1:1 Waveguide ใช้เป็นเส้นทางเชื่อมหรือส่งสัญญาณระหว่างจุดภายใน IO หรือ ระหว่าง IOด้วยกัน มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

1.2) 1:n Waveguide ใช้เป็นตัวส่งพร้อมกับกระจายสัญญาณ มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

2) Phase Modulator เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำสัญญาณไฟฟ้าไปมอดดูเลท หรือ ควบคุม สัญญาณแสงที่ออกไปได้ มี 2 แบบ โดยแบ่งตามโครงสร้างของการวางขั้วไฟฟ้าที่เป็นทางเข้าของ สัญญาณไฟฟ้า คือ แบบที่ให้สนามไฟฟ้าทิศทางตามและตัดขวางกับการเคลื่อนที่ของสัญญาณแสง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ ตามที่ได้วิเคราะห์มาได้พบว่าโครงสร้างแรกจะใช้ศักดา ที่มาควบคุมสูงกว่าแบบที่สองหลายร้อยเท่าซึ่งอาจจะต้องใช้ที่อยู่ในย่านกิโลโวลต์ จึงไม่เหมาะสมที่ จะสร้างเป็นอุปกรณ์ใช้งาน ดังนั้นจึงได้พิจารณาแต่ Phase Modulator แบบที่สอง มาใช้ในการออก แบบและหาคุณสมบัติการสอบสนองแล้วพบว่าสามารถที่จะนำมาทำประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้



3.1) Longitudinal Phase Modulator 3.2) Transverse Phase Modulator

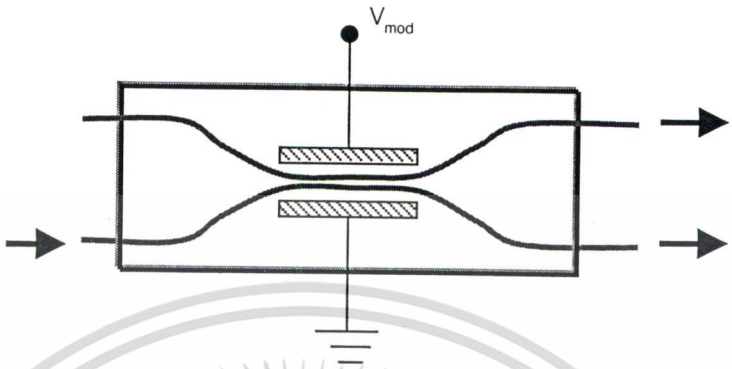
รูปที่ 3 โครงสร้างของอุปกรณ์ท่อนำคลื่นแบบ Phase Modulator

2.1) FM Modulator ดังคุณสมบัติพื้นฐานของ phase modulator ที่สามารถที่จะนำมาสร้าง เป็น FM modulator ในระบบสื่อสารทั่วไป ที่มี Carrier และ Bandwidth สูงกว่าระบบสื่อสารทางไฟ ฟ้าถึงแสนเท่าโดยประมาณ

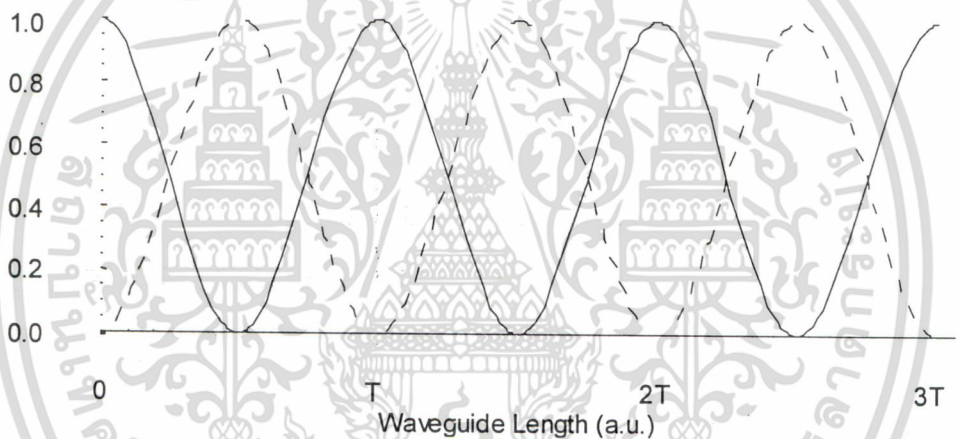
2.2) Phase-Controlled Waveguide ใช้เป็นตัวปรับแต่งเฟสของแสงตามที่ต้องการ (Phase - matching) โดยมีโครงสร้างตามรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

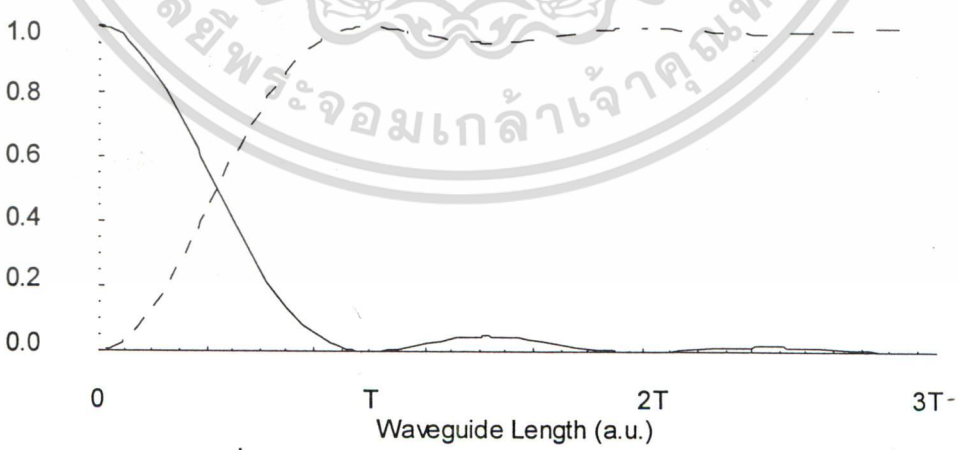
2.3) 1:n Waveguide-mode Coupler จากคุณสมบัติของอุปกรณ์ใน 2.2 ถ้านำมาใช้กับ 1:n Waveguide แล้วจะสามารถควบคุมการ Couple ระหว่าง Waveguide mode ต่าง ๆ ได้ด้วยการปรับค่าศักดาของขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 1:n Waveguide-mode Coupler



5.1) การ Coupling ที่สมบูรณ์ ของ Fundamental mode ท่อแรก (---) กับ ท่อที่สอง (- - -)



5.2) การ Coupling ที่ไม่สมบูรณ์ ของ Fundamental mode ท่อแรก (---) กับ ท่อที่สอง (- - -)

รูปที่5 การ Coupling ของ Fundamental Mode ของ 1:n waveguide coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32379

โดยปรกติแล้วเมื่อใส่สัญญาณแสงเข้าไปในโครงสร้างดังกล่าว จะเกิดการCouplingของ Fundamental mode ระหว่าง ท่อนำคลื่นอันแรก กับ ท่อนำคลื่นอีกอัน เสมอ แต่เมื่อป้อนค่าศักดา Vmod แล้วจะก่อให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสมากขึ้น ซึ่งจะเร่งและควบคุมจะเกิดการ Coupling ของ Fundamental mode ในโครงสร้างดังกล่าวได้ โดยเมื่อเกิดการ Coupling ที่สมบูรณ์ (Perfectly Match) ที่ทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของเฟส รวมของ Fundamental mode ที่เกิดขึ้นในท่อนำคลื่นทั้งสองแล้ว การ Coupling ของ Fundamental mode ที่ output 1 และ 2 จะแสดงได้ดังในรูปที่5.1 แต่ถ้าเกิดการCoupling ที่ไม่สมบูรณ์ (Mismatch)แล้ว เกิดความแตกต่างของเฟส รวมของ Fundamental mode ที่เกิดขึ้นในท่อนำคลื่นทั้งสองแล้ว การ Coupling ของ Fundamental mode ที่ output 1 และ 2 จะแสดงได้ดังในรูปที่5.2

จากผลที่ได้ในรูปที่ 5 นี้ เราสามารถทำจะนำเอาอุปกรณ์ชนิดมาทำเป็น

- Mode coupler จากท่อนำแสงอันหนึ่งกลับไปกลับไปมากับท่อนำแสงอีกอันหนึ่งได้
- Optical Switch (ตามรูปที่ 5.2) โดย Coupling จากท่อนำแสงอันหนึ่งไปอยู่ใน guide ท่อนำแสงอีกอันหนึ่งได้

นอกจากนี้แล้ว ยังสามารถที่จะนำเอาหลักการทั้งสองมาเป็นหลักการเบื้องต้นที่จะนำไปใช้ในการสร้าง Optically Logical Gate แบบต่างๆได้ ซึ่งสามารถนำไปสู่การออกแบบ Integrated Optics ที่ใช้ในงานทางด้าน Digital Electronics ได้เช่นเดียวกัน

สรุป

ในการวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาท่อนำแสงที่สร้างบนสารซิลิกอน โดยหาโครงสร้างของท่อนำคลื่นแสงที่เป็นไปได้คือ Silicon Nitride ขนาบด้วย Silicon Dioxide บนฐานรองซึ่งเป็นสารซิลิกอน ได้ดำเนินการทำการออกแบบและทำการจำลองการทำงานของอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างท่อนำคลื่นแบบธรรมดา แบบหลายช่องทางออก ตลอดไปถึง อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างท่อนำคลื่นแบบเฟสมอดดูเลเตอร์ ซึ่งทำให้เข้าใจการทำงาน และสามารถนำเอาพฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างเหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ในทาง Opto-electronics ได้ เช่น เส้นทางการเดินหรือเชื่อมสัญญาณ เส้นทางกระจายสัญญาณ อุปกรณ์ผสมสัญญาณทางไฟฟ้าในสัญญาณแสง อุปกรณ์คัปปลิ้งสัญญาณแสง และ อุปกรณ์สวิตซ์สัญญาณทางแสง เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถที่จะนำไปใช้ในการสร้าง Optically Logical Gate แบบต่างๆได้ หรือ อาจจะนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ Sensor โดยใช้สัญญาณแสงได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้