

DFB Laser Diode for Telecommunication

นายธีรพล ศิลาวรรณ

“อุปกรณ์ดีย่อมได้เปรียบ”

เสนอ รศ.ดร. ประสิทธิ์ ทัพพุฒิ



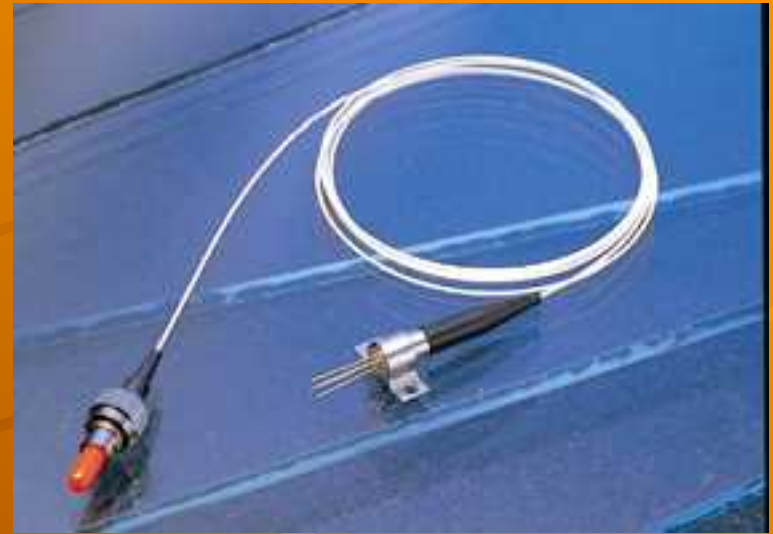
ความสำคัญ

- ✦ ในการส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปตามสายสัญญาณ หากส่งไปในตัวกลางที่ไม่ดี ข้อมูลอาจถูกรบกวนหรือถูกเปลี่ยนแปลงได้ โดยสัญญาณรบกวน
- ✦ หากส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณที่มีคุณสมบัติหน่วงมาก ข้อมูลอาจถึงจุดหมายปลายทางล่าช้า และเกิดความเสียหายได้
- ✦ การแก้ไขปัญหานี้คือ ต้องเลือกหาอุปกรณ์หรือการผลิตที่มีคุณภาพสูง มาเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ อย่างเหมาะสม



Semiconductor

- ✦ ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำ เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประกอบและเป็นวัสดุ อุปกรณ์ ในการทำสายส่งสัญญาณต่าง ๆ เพราะไม่นำไฟฟ้ามากเกินไป สามารถควบคุมพาหะข้างน้อยได้ง่ายกว่า และบังคับให้ทำงานได้ตาม ความต้องการได้มากกว่าตัวนำหรือ ฉนวนอื่น ๆ



Pigtailed laser diode module package

หมู่ III-V

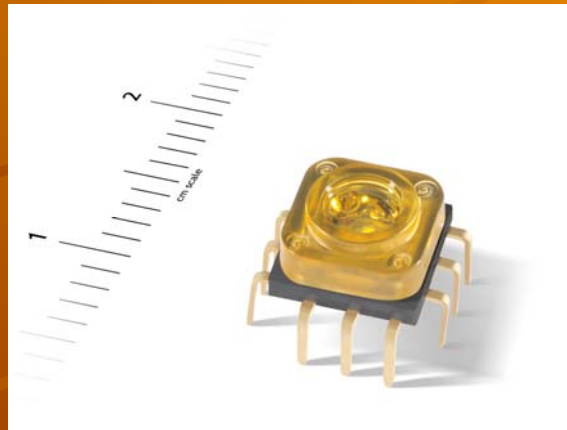
✦ ในการประยุกต์สารกึ่งตัวนำ สารหมู่ 3-5 มีคุณสมบัติดีในด้านระบบสื่อสาร และใช้ในการสร้างสิ่งต่าง ๆ เกี่ยวกับการสื่อสารมากแล้ว สารหมู่ 3-5 มีการสร้างเป็นสิ่งต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบและมีเทคนิคมากในการประยุกต์ในหลาย ๆ ด้าน จึงเป็นที่น่าจับตามองในปัจจุบัน ในการพัฒนาเพื่อทำเป็นอุปกรณ์ที่นำสมัยต่อไป



- Lighting--Laser Beam LED

DFB (Distributed Feed Back)

- DFB เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไปที่กำลังจะแพร่หลายในอนาคต โดยใช้สารกึ่งตัวนำเป็นอุปกรณ์(วัสดุ)หลัก



สมรรถนะ

- ✦ อัตราการส่งสัญญาณของ DFB มีความเร็ว 2.5 Gbit/sec แต่ในอนาคตจะพัฒนาไปมากกว่านี้อย่างแน่นอน
- ✦ ในช่วงปีที่ผ่านมา DFB laser มีความสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรม โดย DFB laser ที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1.3 ไมโครเมตร ถึง 1.55 ไมโครเมตร ได้รับความนิยมมากที่สุดเพราะสามารถดัดแปลงได้ทำอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้หลายชนิดและมีประโยชน์สูงมาก

ข้อกำหนดพื้นฐานช่วงเริ่มต้น

- ✦ อย่างไรก็ตาม DFB Laser ก็ยังใช้ความยาวคลื่นที่มีค่าเฉพาะตัว ไม่ใช่ว่าใช้ได้ทุกค่า แล้วแต่การใช้งาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในปัจจุบันใช้ความยาวคลื่น 1.3 และ 1.55 ไมโครเมตรมากที่สุด ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ ยังอาจจะใช้ในการทำงานอื่น ๆ ต่อไปอีกมากมาย



การประยุกต์

- เลเซอร์ไดโอดยังมีความสมบัติเด่นอีกมากมาย และยังมีการประยุกต์ทำสิ่งต่าง ๆ มากมายด้วย เช่น spectroscopy ที่มีความถี่ใกล้เคียงกับรังสีอินฟราเรด โดยได้มีการแสดงผลงานระดับโลกมาแล้วในงาน Laser Focus World 133 เดือนพฤศจิกายน 1992 และได้แสดงว่า DFB Laser มีความสำคัญต่อการสื่อสารในอนาคตมาก



การประยุกต์ 2

✦ อนาคต

- เลเซอร์ไดโอดที่ใช้คุณสมบัติการดักอิเล็กตรอนในบ่อควันตัม
- ย่านการทำงาน ที่ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส (ไม่ต้องทำงานในที่ ๆ มีข้อจำกัดมากเกินไป)
- สร้างด้วย อินเดียมแกลเลียมอาเซนาย เป็นสารปลูกได้ง่าย
- สั่งการโดย Bellcore TA-NWT-0009853

✦ ระบบทั่วไป

- FC/ST/SC receptacle package with 2-hole flange
- Un-cooled fiber pigtailed with optional FC/ST/SC/MU/LC connector

✦ อุปกรณ์ประยุกต์

- Design for fiber optic networks
- SONET OC-3/OC-12/OC-24
- SDH STM-1/STM-4/STM-8
- Stable light source

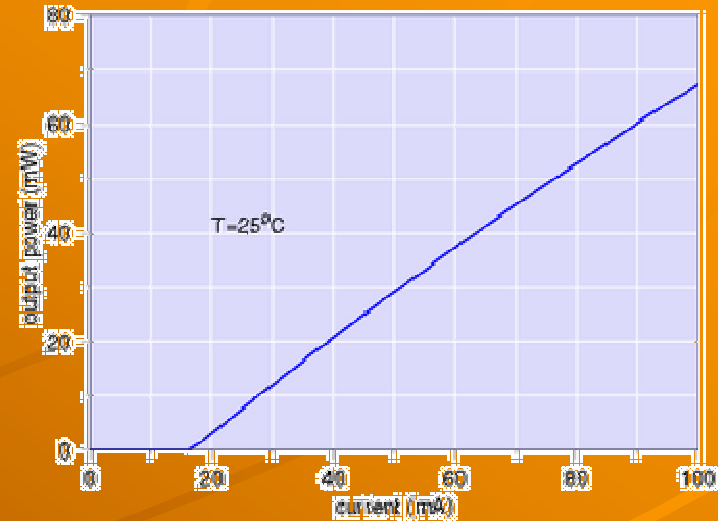
ความแตกต่างระหว่าง DFB กับเลเซอร์ชนิดอื่น

✦ **Fabry-Perot** ทำงานในอย่างความถี่ที่แน่นอนแต่เป็นที่ยากที่จะกว้าง อุปกรณ์ที่ใช้ทำเลเซอร์ เกิดจากอุปกรณ์ลักษณะคล้ายกระจก และเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมา ในระดับความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 mm ถึง 0.001 ไมครอน

✦ DFB ใช้เกรตติงในการสะท้อนแทนกระจก จึงได้ความยาวคลื่นที่แน่นอนกว่าและมีความเข้มมากกว่า laser ชนิดอื่น

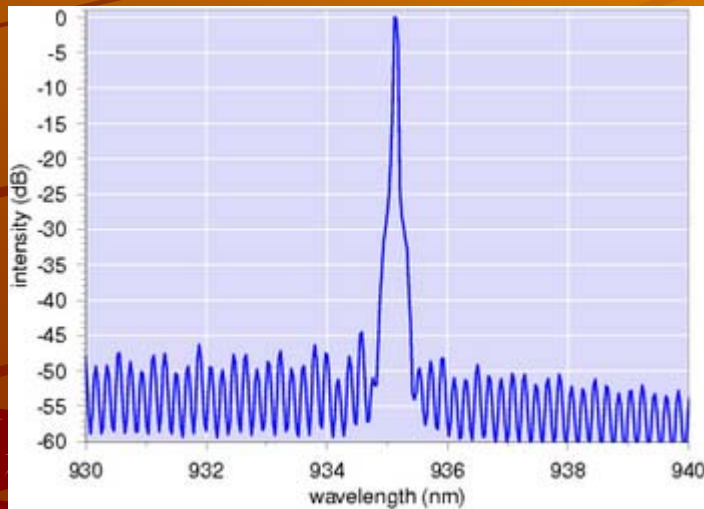
DFB laser diode ในระดับ nano

✦ DFB laser มีลักษณะการทำงานที่สอดคล้องกับการทำงานในระดับเล็กได้ โดยใช้แก๊สหรือ atom spectroscopy เป็นตัวแสดงลักษณะสมบัติขนาดเล็กที่นิยมใช้เป็นตัวแทนแสดงกันมากจะมีความยาวคลื่นอนุภาคประมาณ 760 นาโนเมตร ถึง 2.8 ไมโครเมตร



• Fig. 1: Single mode optical output power versus current for a 935nm DFB LD (mounted on TO9 header) at 25°C. A laser threshold of 16mA combined with a high differential efficiency of 0.87W/A is achieved and e.g. allows 10mW operation at drive currents below 30mA.

ความสั้มพันธ์



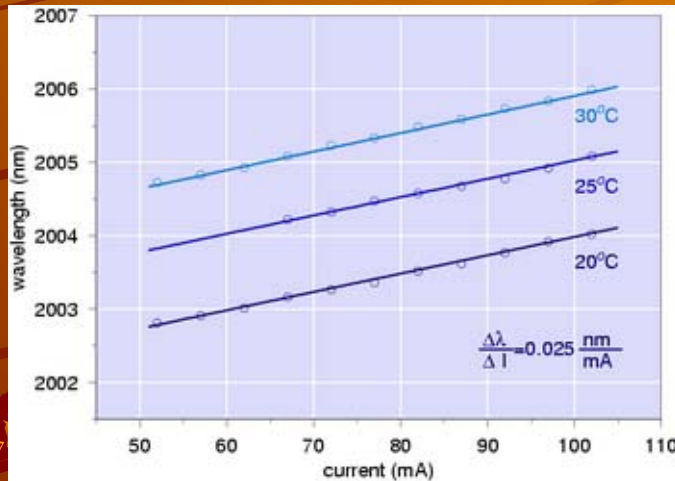
- ✦ อัดสหสัมพันธ์ของ 935nm *DFB LD* (จากรูปที่ 1) โดยมีผลตอบสนองกำลัง 45mW . โดย *DFB* มีอัตราการแผ่พลังงาน 45dB จึงสามารถสังเกตได้ง่าย

ข้อมูลขาเข้า

- ✦ ตามปรกติแล้ว DFB laser diodes ใช้ได้กับ a Peltier cooler (ในช่วงอุณหภูมิ 20-50°C). การปรับแต่ง โดยอุณหภูมิจะปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นที่มีความยาวการแพร่ใกล้เคียงแก๊ส. และนอกจากนั้นยังมีความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสที่เข้าด้วย DFB จึงมีความยืดหยุ่นมากในทางปฏิบัติ



ลักษณะขาเข้าที่เป็นกระแสในระดับต่างๆ



กราฟลักษณะสมบัติที่ขึ้นกับกระแส
ในระดับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง 25
องศาเซลเซียส

อุปกรณ์เพิ่มเติม



- *DFB LDS* ทุกชนิดจะมีหัวต่อ เป็นตัวแบ่งลักษณะความถี่ต่าง ๆ ที่ เข้ามา มีหลายแบบ เช่น *T05.6, T09, T08*

สายส่ง Fiber Optic

- การส่งสัญญาณผ่านสาย fiber optics มีข้อได้เปรียบสายเคเบิล (cable) หรือสายโคแอกเซียล (coaxial cable) หลายประการ อาทิเช่น เมื่อความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณสูงขึ้น ค่ากำลังสูญเสีย (Attenuation loss) ในสายเคเบิลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้สายเคเบิลสามารถใช้ส่งสัญญาณได้ในระยะสั้นๆ เท่านั้น ในทางกลับกัน fiber สามารถใช้ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลๆ ที่ความถี่หรือ bandwidth สูงๆ โดยมีการสูญเสียสัญญาณใน fiber เพียงเล็กน้อย Fiber จึงได้มีการใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการ backbone link LANs SANs หรือ Office Data Centers

การเลือกใช้ fiber optics ชนิดใดนั้น จะมีผลต่อ Cost และ Performance อาทิเช่น เมื่อต้องการส่งสัญญาณให้ได้ไกลเป็นกิโลเมตร Single Mode Fiber (SMF) ก็คือหนทางเลือก แต่ถ้าต้องการนำมาใช้ในงาน LAN หรือ WAN ที่ไม่เกิน 300 เมตร Multimode Fiber (MMF) ก็จะเป็นหนทางเลือกที่น่าสนใจ

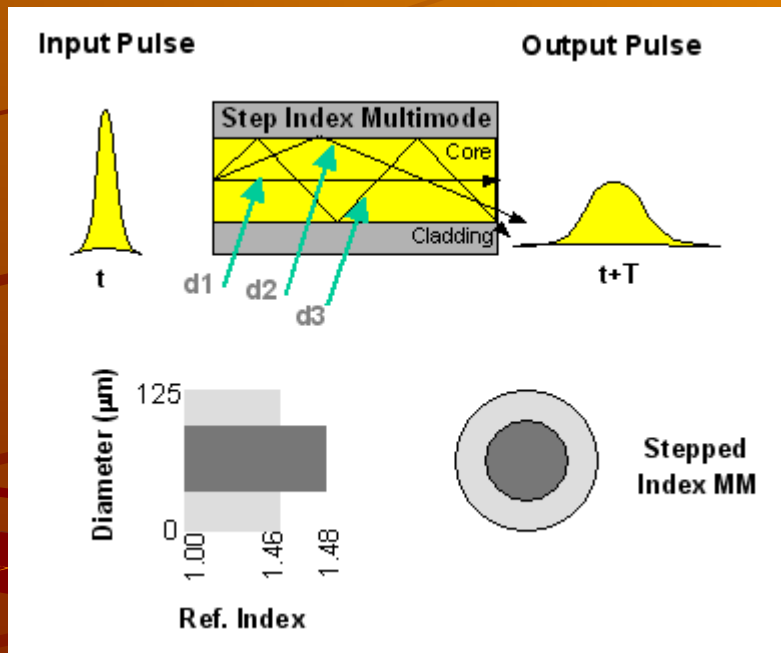
บทความต่อไปนี้จะให้ความสนใจต่อ MMF โดยจะกล่าวถึงคุณสมบัติของ MMF แต่ละชนิดโดยทั่วไป, การใช้งานสำหรับการส่งสัญญาณที่ Gigabit และ 10 Gigabit, วิเคราะห์สิ่งที่มีผลต่อ Bandwidth อาทิเช่น ชนิดของ MMF, แหล่งกำเนิดที่ใช้กับ fiber, วิธีการ Launch แสง รวมทั้งยังเปรียบเทียบ cost ในการติดตั้งระบบ 10 Gigabit กับระบบอื่นๆ ที่นอกเหนือจากใช้ MMF

Dispersion กับ Bandwidth

- ในการส่งสัญญาณแสงไปยัง fiber optics ที่ระยะทางไกลๆ ด้วยความถี่สูงนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง นอกเหนือจาก Attenuation loss ก็คือ Dispersion ซึ่ง Dispersion เป็นสาเหตุของสัญญาณที่มีการ Spread in Time เมื่อแสงเดินทางใน fiber ได้ระยะทางหนึ่ง เป็นผลให้สัญญาณที่ปลายทางมีความยาวของรูปสัญญาณที่มากขึ้นกว่าสัญญาณต้นทาง ดังนั้นเมื่อมีการส่งสัญญาณที่ Bit rate สูงๆ ตัวรับสัญญาณอาจจะไม่สามารถแยกแยะแต่ละ Bit ของสัญญาณออกจากกันได้ อีกทั้งการ Spread ของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางที่แสงเดินทางภายใน fiber มีการแสดงค่า Dispersion ของ fiber ในรูป Bandwidth-Distance Product ซึ่งมีหน่วยเป็น MHz.km

ในรูปที่ 1 สัญญาณหรือข้อมูลถูกส่งผ่านไปใน core ของ fiber ในรูปของแสง แสงเดินทางจากปลายข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง โดยเส้นทางเดินทางของแสงแต่ละอันเรียกว่า mode จากรูป Step Index Fiber มี 3 modes โดย mode d3 เดินทางเป็นระยะทางที่มากกว่า mode d1 ดังนั้น modes ทั้งหมดจะเดินทางถึงปลายสาย fiber ไม่พร้อมกัน ทำให้สัญญาณที่ปลายทางมีการขยายเป็น $t+T$ ดังรูปที่ 1 ผลของการเดินทางของแต่ละ mode ที่ใช้เวลาแตกต่างกันเรียกว่า Modal dispersion ผลกระทบของ Modal dispersion ทำให้ fiber ส่งสัญญาณด้วย Bit rate ที่ต่ำลง รวมทั้งลดระยะทางที่ fiber สามารถใช้ในการส่งสัญญาณได้โดยปราศจาก error โดยปกติ Step Index Fiber เป็น MMF ที่สามารถส่งสัญญาณได้มากกว่า 3 modes มาก ดังนั้นทำให้ผลกระทบของ Modal dispersion ทวีความรุนแรงมากขึ้น

รูปการเดินทางของแสง



➤ แสงการเดินทางของแสงแต่ละ mode สำหรับ Step Index Fiber ทำให้เกิด Modal Dispersion

Differential Mode Delay (DMD)

- ปัญหาของการส่งข้อมูลในระดับ 1 Gb/s สำหรับ MMF ขึ้นกับชนิดของสาย fiber และชนิดของแหล่งกำเนิดแสง ตัวแปรอื่นที่มีผลต่อ Data rate ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ก็คือ Differential Mode Delay (DMD)

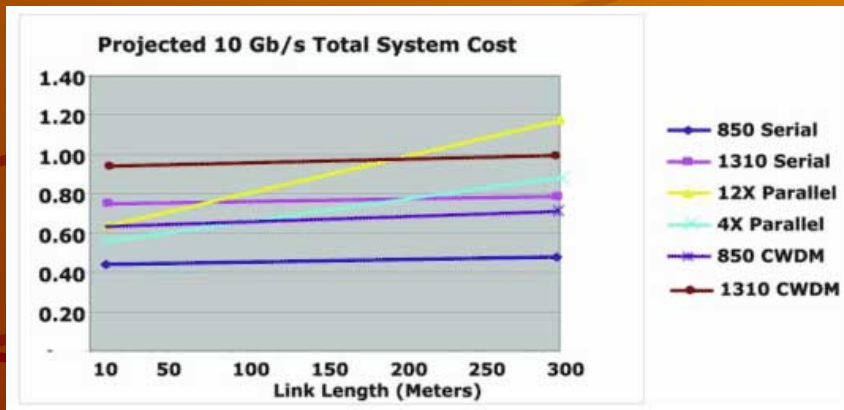
DMD เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณของแต่ละ mode เดินทางด้วยระยะทางและ delay ที่ต่างกัน จากนั้น modes เกิดมีการ Interfere ซึ่งกันและกัน ทำให้ไม่สามารถแยกแยะแต่ละ mode ออกจากกันได้ เป็นผลให้สัญญาณเกิดการ Jitter และมี BER (Bit-Error-Rater) สูง

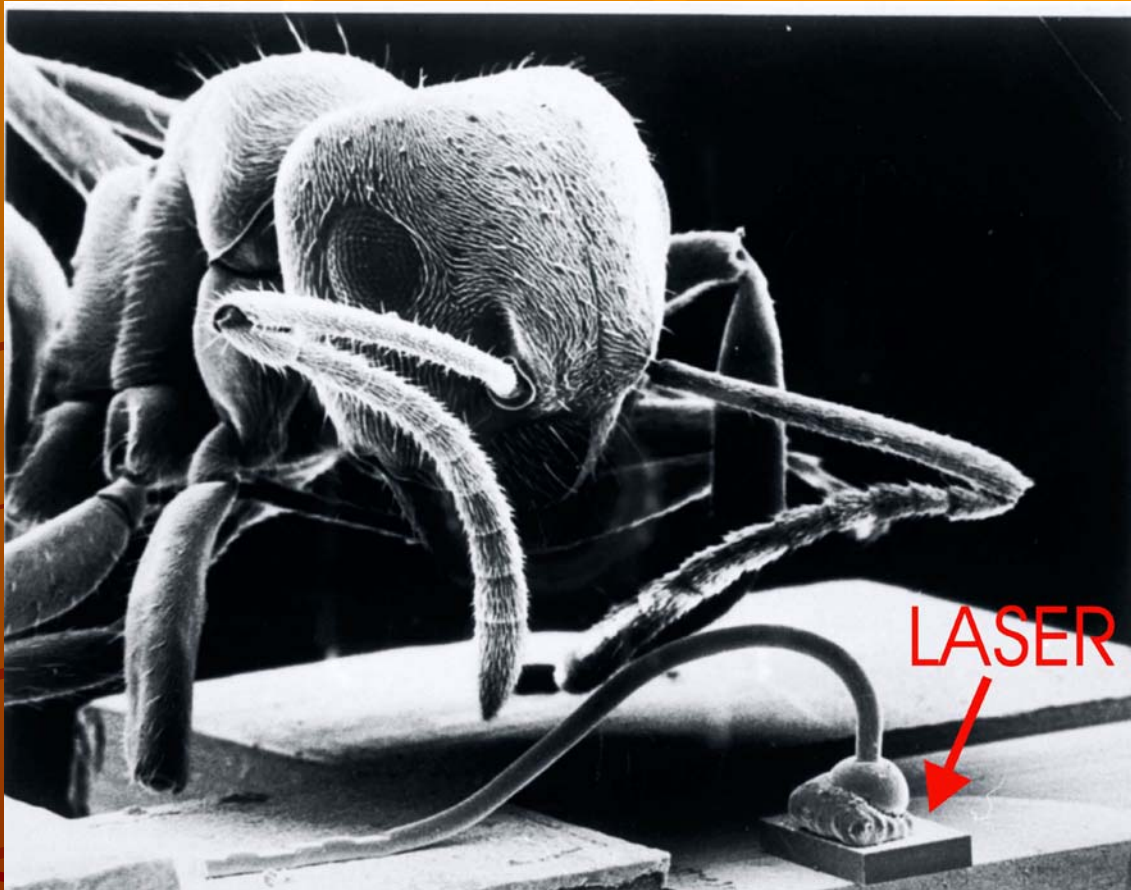
เทคโนโลยีการส่งสัญญาณ 10 Gigabit

- ◆ ในขณะนี้ 10 Gigabit Technology มีทั้งที่ใช้ SMF และ MMF โดย SMF จะมีการใช้งานที่ LX ส่วน MMF ใช้งานที่ SX กับ 50 um-fiber สายเคเบิล MMF ชนิดใหม่มีชื่อเรียกว่า OM3 หรือ Laser Optimized Fiber มีค่า Modal bandwidth ที่ 2000 MHz.km โดยสามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 300 เมตร ซึ่งไกลกว่าสาย 50 um-fiber และ 62.5 um-fiber ทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 3 ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า Bandwidth ของ MMF ขึ้นอยู่กับวิธีการส่งลำแสงเข้าไปยัง fiber สำหรับ 10 Gb/s ใช้แหล่งกำเนิดแสงจาก VCSEL ที่ 850 nm ด้วยวิธี Limited Core Launch
- ◆ DMD ได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบมาตรฐาน Bandwidth ของ 10 Gb MMF ชนิด OM3 เนื่องจากให้รายละเอียดเกี่ยวกับแต่ละ mode ใน MMF ได้ดี อีกทั้งผลการทดสอบยังมีค่า Reliability สูง วิธีการทดสอบ Bandwidth โดยใช้วิธี DMD แสดงดังรูปที่ 8 ใช้เลเซอร์ความยาวคลื่นแสงที่ 850 nm สแกนตามแนวภาพตัดขวาง (cross section) ของ core โดยมีการเพิ่มรัศมี r ทีละนิก การวัดแบบ DMD จะให้รูปแบบสัญญาณดังตัวอย่างในรูปที่ 9 สัญญาณ DMD ถูกวัดที่ตำแหน่ง 25% ของความเข้มสัญญาณ จาก leading edge ถึง trailing edge ของสัญญาณภายในกรอบรัศมีที่กำหนด จากรูปที่ $r=5$ ถึง 18 um สัญญาณอยู่ภายในกรอบ 0.25 ps/m ส่วน $r=0$ ถึง 23 um มีค่าสัญญาณภายในกรอบ 0.33 ps/m

ค่าใช้จ่าย

- ✦ ได้มีการประมาณค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดในการติดตั้ง 10 Gb/s ด้วยวิธีต่างๆ ดังรูปที่ 10 จากรูปแสดงว่า 850 nm ร่วมกับสาย OM3 fiber สามารถใช้ส่งสัญญาณที่ 10 Gb/s โดยมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด





จบแล้วครับ