

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการตรวจวัดพื้นผิวอย่างละเอียดด้วยเปียโซอิเล็กทริก
โดยหลักการของไมเคลสัน



รฟ.
ศ 6897
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 81612
วัน,เดือน,ปี..... 19 ส.ย. 2551

b. 119 33653
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา พ.ศ. 2550

A Study of Surface Roughness Units using Piezoelectric



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2007**

โครงการพิเศษเรื่อง

การศึกษาการตรวจวัดพื้นผิวอย่างละเอียดด้วยเปียโซอิเล็กทริก โดย
หลักการของไมเคลสัน

นักศึกษา

นางสาว สาวิตรี เตียววงศ์สมบัติ
นางสาว ภาวิดา โพธิ์พรหม

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้กับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
กรรมการ ผศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
กรรมการ อ.ภารุจ บัณฑิตาวิทย์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน	

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาการตรวจวัดพื้นผิวอย่างละเอียดด้วยเป็ยโซฮิเล็กทริกโดย หลักการของไมเคลสัน
นักศึกษา	นางสาวสาวิตรี เต็มวงศ์สมบัติ นางสาวภาวิดา โพธิ์พรหม
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา อุพาพิน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการวัดลักษณะพื้นผิวของวัตถุอย่างละเอียดโดยอาศัยหลักการแทรกสอดทางแสงชนิดไมเคลสัน โดยใช้เลเซอร์ฮีเลียมนีออนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร และใช้โฟโต้ดีเทคเตอร์ในการรับสัญญาณแสงแล้วแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าออกทางจ้อออสซิลโลสโคป จากหลักการแทรกสอดชนิดแบ่งแอมพลิจูดของไมเคลสันนี้จะ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับปริมาณที่ต้องการวัด ดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคนี้ในการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของเหรียญ 100 เยน ที่มีความแตกต่างระหว่างพื้นผิวก่อนข้างชัดเจน โดยใช้เป็ยโซฮิเล็กทริก เพื่อเพิ่มความละเอียดในการศึกษา โดยกำหนดจุดอ้างอิงจุดหนึ่งให้มีค่า Optical Path Difference หรือค่า OPD เท่ากับ 0 แล้วเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของ OPD กับจุดที่ต้องการตรวจวัด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า จุดที่มีความนูนมาก จะมีค่า OPD สูง ส่วนจุดที่มีความนูนต่ำจะมีค่า OPD ต่ำ

Special Project Title A Study of Surface Roughness Units using Piezoelectric
Name Miss Sawitri Tiavonksombat
Miss Pavida Poprom
Department Applied Physics Faculty of Science
Program Applied Physics
Academic year 2007
Special Project Advisor Assoc.Prof.Dr.Preecha Yupapin

ABSTRACT

This special project is the study of Michelson's interferometer which is a high precise measurement. It is used to measure surface roughness in order to study surface characteristics of sample i.e. coins. The principal of the system using He-Ne laser as a light source which has 632.8 nanometers of wavelength is proposed. The interference fringes are detected by photo detector which transforms optical signals into electrical signals to oscilloscope. As a result, this technique allows us to find out the characteristics of 100 Yen coin's surface that is distinguishable and use of piezoelectric helps us to work delicately. We fix the first coordinate at the center of a coin given optical path difference (OPD) equals zero. We also fix the other coordinates to compare OPD with the first one. To summarize, the coordinate that is higher has more OPD than the lower.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.ปรีชา อุพาพิน อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำ คอยเอาใจใส่และช่วยเหลือเมื่อผู้ศึกษาเกิดปัญหาในการดำเนินงาน จนกระทั่งเสร็จสิ้นการวิจัย

ขอบพระคุณ รศ.ดร.วิญญู เพชรภา รวมถึงอาจารย์ท่านอื่นๆ ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำเป็นอย่างดี รวมทั้งอนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์ให้

ขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประจำอาคารซ่อมสร้าง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการตัดเจาะ พร้อมทั้งยังให้คำแนะนำในการใช้งาน และการจัดทำอุปกรณ์อีกด้วย

ขอบพระคุณอาจารย์สุรชาติ และพี่สาย ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการจัดวาง อุปกรณ์การทดลองในงานวิจัย

ขอบพระคุณพี่ภูเบศร์ พี่วุฒินันท์ พี่สีบ และพี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในการจัดวางอุปกรณ์ในงานวิจัย และให้คำปรึกษาในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ

ขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและเงินทุนสนับสนุน รวมทั้งช่วยเหลือในการจัดทำ อุปกรณ์สำหรับติดตั้งเปียโซอิเล็กทริก

นอกจากนี้ ผู้ศึกษาขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ เป็นห่วง และให้กำลังใจตลอดมา

นางสาวสาวิตรี เดียววงศ์สมบัติ

นางสาวภาวิดา โพธิ์พรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตการวิจัยของโครงการพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	4
2.1 อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน	4
2.2 เลเซอร์	5
2.2.1 ความเป็นมาของเลเซอร์	5
2.2.2 ระบบเลเซอร์	6
2.2.3 หลักการเกิดแสงเลเซอร์	7
2.2.4 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์	10
2.2.5 โหมดของแสงเลเซอร์	11
2.3 เลเซอร์ก๊าซ	16
2.4 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน	17
2.4.1 โครงสร้างภายในของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน	17
2.4.2 หลักการเกิดแสงเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน	18
2.5 เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)	20
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
3.1 การดำเนินการทดลองอ้างอิงตามทฤษฎี	22
3.1.1 ไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์	22

3.1.2 หลักการ	23
3.1.3 การทดลอง	25
3.2 การตรวจวัดพื้นผิวของวัตถุตัวอย่างโดยใช้ไมโครมิเตอร์	26
3.2.1 หลักการ	28
3.2.2 การทดลอง	29
3.3 การตรวจวัดพื้นผิวของวัตถุตัวอย่างโดยใช้เป็ยโซอิเล็กทริก	29
3.3.1 หลักการ	30
3.3.2 การทดลอง	30
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 ผลการศึกษาระบบการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน	32
4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเหรียญ 100 เยน โดยใช้ไมโครมิเตอร์ และเป็ยโซอิเล็กทริก	36
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่เกิดจากการแทรกสอด ณ ตำแหน่งต่างๆของไมโครมิเตอร์	33
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหน้าเหรียญ โดยใช้ไมโครมิเตอร์	36
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหน้าเหรียญ โดยใช้เปียโซอิเล็กทริก	38
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเหรียญ โดยใช้ไมโครมิเตอร์	40
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเหรียญ โดยใช้เปียโซอิเล็กทริก	42



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงแบบจำลองของการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน	1
รูปที่ 2.1	แสดงหลักการของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน	4
รูปที่ 2.2	วีรรอยแทรกสอดที่ได้จากอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน	5
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์	7
รูปที่ 2.4	แสดงการดูดกลืนแบบเกิดขึ้นเอง	8
รูปที่ 2.5	แสดงการเกิดโหมดตามแกนของเลเซอร์	13
รูปที่ 2.6	แสดงการทำให้แสงเลเซอร์หลายโหมดกลายเป็นโหมดเดียว	15
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะของโหมดตามขวาง	16
รูปที่ 2.8	แสดงโครงสร้างพื้นฐานในการเกิดแสงเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน	18
รูปที่ 2.9	แสดงไดอะแกรมระดับพลังงาน	19
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริก	20
รูปที่ 2.11	แสดงปรากฏการณ์ Piezoelectricity	21
รูปที่ 3.1	ไดอะแกรมการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน	23
รูปที่ 3.2 (a) และ (b)	แสดงระบบการทดลองไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ในงานวิจัย เมื่อใช้ฉากรับภาพ	24
รูปที่ 3.3	ไดอะแกรมระบบที่ใช้ในการทดลองการวัดพื้นผิวแบบเลื่อนไมโครมิเตอร์	27
รูปที่ 3.4	แสดงระบบการทดลองไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ในงานวิจัย เมื่อใช้โฟโตดีเทกเตอร์	27
รูปที่ 3.5 (a) และ (b)	แสดงเหรียญโลหะ 100 เยนและตำแหน่งวัดในงานวิจัย	28
รูปที่ 3.6	ไดอะแกรมระบบที่ใช้ในการทดลองการวัดพื้นผิวแบบใช้เปียโซอิเล็กทริก	30
รูปที่ 4.1	ผลการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสัน บนฉากรับภาพ	32
รูปที่ 4.2	ผลการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสันบนจอออสซิลโลสโคป	33
รูปที่ 4.3 (a) และ (b)	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งไมโครมิเตอร์ (mm) กับแรงดัน (V)	35
รูปที่ 4.4	แสดงจุดพิกัดในการศึกษาด้านหน้าเหรียญ	36

- รูปที่ 4.5 (a) และ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหน้าเหรียญ เมื่อใช้
ไมโครมิเตอร์ 37
- รูปที่ 4.6 (a) และ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหน้าเหรียญ
เมื่อใช้เป็ช โซอิล็กทริก 39
- รูปที่ 4.7 แสดงจุดพิกัดในการศึกษาด้านหลังเหรียญ 40
- รูปที่ 4.8 (a) และ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหลังเหรียญ
เมื่อใช้ไมโครมิเตอร์ 41
- รูปที่ 4.9 (a) และ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหลังเหรียญ
เมื่อใช้เป็ช โซอิล็กทริก 43

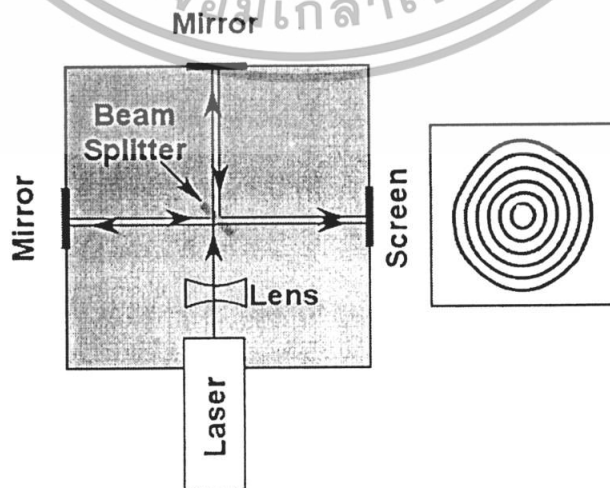


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีทางด้านเครื่องมือวัดทางด้านวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาไปในระดับนาโนสเกล ดังนั้นการสร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์การวัดก็จะต้องถูกพัฒนาไปในระดับนาโนสเกลเช่นกัน ในงานวิจัยนี้เป็นการวัดลักษณะพื้นผิวทั่วไปในระดับนาโนสเกล ซึ่งได้อาศัยหลักการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสัน โดยใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ฉายแสงผ่านอุปกรณ์แยกแสงหรือที่เรียกว่า บีมสพลิตเตอร์ จากนั้นแสงจะถูกแบ่งออกเป็นสองทิศทางไปยังกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และไปยังกระจกที่ถูกกำหนดตำแหน่งไว้แน่นอน แสงที่เกิดจากการสะท้อนของกระจกทั้งสองจะเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบอาพันธ์และสะท้อนกลับมายังอุปกรณ์แยกแสง จากนั้นจะเกิดการแทรกสอดกันบริเวณหัววัดปริมาณแสงหรือดีเทคเตอร์ และแสดงผลออกทางออสซิลโลสโคป แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความแตกต่างของผิวหน้าวัตถุ โดยสมมติความแตกต่างของผิวหน้าวัตถุในระดับนาโนสเกลนั้น โดยใช้เพียงโซอิลเททริกติดกับกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อศึกษาลักษณะของแสงที่ออกมาจากระบบของการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสัน ว่ามีลักษณะและคุณสมบัติอย่างไร และนำไปพัฒนาในการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวอื่น ที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูง



รูปที่ 1.1 แสดงแบบจำลองของการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
2. ศึกษาคุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริก
3. ศึกษาการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของเป็ยโซอิเล็กทริกและการบันทึกผล
4. เป็นประโยชน์เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ มีผู้จัดทำโครงการ 2 คน โดยแบ่งงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. การแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
 - 1.1 คุณสมบัติและ โครงสร้างของเลเซอร์ ชนิดฮีเลียม-นีออน
 - 1.2 คุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริก
 - 1.3 การประมวลผล
 - 1.4 โปรแกรมควบคุมที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการจัดอุปกรณ์การทดลองตามที่ทำการศึกษาไว้
3. ทำการทดลองจากอุปกรณ์ที่จัดไว้ ถ้าพบปัญหาทำการแก้ไขและดัดแปลงให้พร้อมใช้งาน จากนั้นจะทำการศึกษาการประยุกต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อไป
4. ทำการทดลองเพื่อประมวลผลจริง
5. พัฒนารูปแบบการประมวลผลและนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมโดยใช้โปรแกรมอย่างง่ายต่อไป

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. สํารวจงานวิจัย ทฤษฎี และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้การแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
2. ศึกษาขั้นตอนการทำงาน ตลอดจนปัญหาและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้และพัฒนาการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
3. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องใช้ในการประยุกต์ใช้และการพัฒนาการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน

4. ออกแบบการทดลองจากทฤษฎีข้างต้น รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลและนำเข้าสู่ข้อมูลในการพัฒนาประยุกต์ใช้การแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
5. ทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ที่ทำการทดลองและทดสอบการใช้งานโปรแกรมควบคุม
6. ทำการทดลองเพื่อประมวลผล
7. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
8. สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยและเสนอแนะ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เรื่อง การแทรกสอดชนิดไมเคลสัน
2. ทำให้ผู้จัดทำมีความชำนาญในการทำทดลอง และการใช้โปรแกรมควบคุมในการทดลอง
3. พัฒนาทักษะกระบวนการคิดและการแก้ปัญหาของผู้จัดทำ
4. สามารถนำหลักการในโครงงานพิเศษนี้ไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ด้านอื่นได้

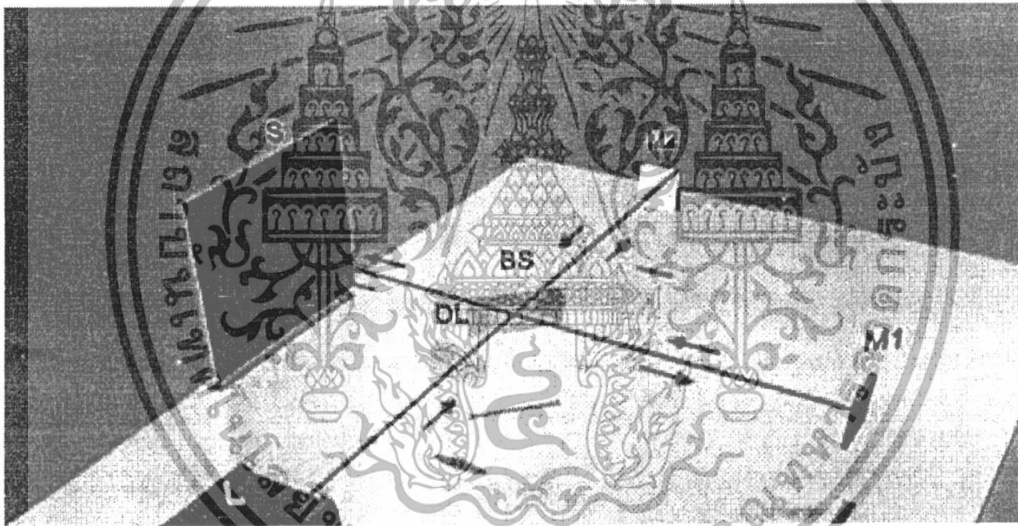


บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

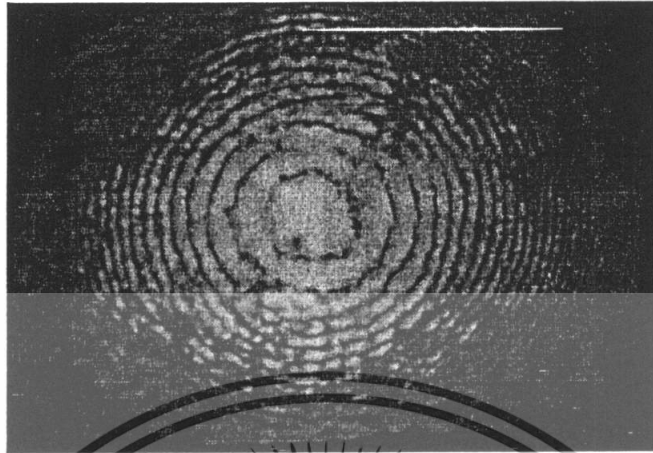
2.1 อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน

ไมเคลสัน ได้เสนอหลักการของเครื่องมือชนิดนี้ให้เป็นที่รู้จักกัน และเครื่องมือนี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาของฟิสิกส์ยุคใหม่ กล่าวคือสามารถใช้หาหลักฐานเพื่อยืนยันสมมติฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษได้ ใช้วัดโครงสร้างที่ละเอียดมาก (Hyperfine Structure) ของเส้นสเปกตรัมได้และใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดความยาวในรูปของความยาวคลื่นแสงได้



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน

ตัวกำเนิดแสงเลเซอร์ตั้งอยู่ด้านหนึ่งของโต๊ะ เปิดสวิตซ์ให้แสงเลเซอร์ฉายไปยังกระจกแยกลำแสง Beam Splitter (BS) ซึ่งแยกลำแสงออกเป็น 2 แนว โดยลำแสงแรกทะลุผ่านไปยังกระจก M2 ส่วนลำแสงสะท้อนเป็นมุม 90 องศาไปยังกระจก M1 ระยะทางจากกระจก Beam Splitter (BS) ไปยังกระจก M1 และ M2 เท่ากัน ลำแสงที่สะท้อนจากกระจก M1 ผ่านกระจกแยก Beam Splitter (BS) และทะลุผ่านไปยังฉาก S ส่วนลำแสงที่สะท้อนจากกระจก M2 ไปยังกระจกแยก Beam Splitter (BS) และสะท้อนไปที่ฉาก S เกิดการแทรกสอดเป็นริ้วรอยมืดสว่างบนฉาก S เลนส์ DL ช่วยขยายริ้วรอยแทรกสอดให้มีขนาดใหญ่ มองเห็นได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.2 รังรอยแทรกสอดที่ได้จากอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน

การนำอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ชนิดไมเคลสันไปใช้ประโยชน์ในการวัดความหนาของฟิล์มบาง เราสามารถนำอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ชนิดไมเคลสันไปใช้ได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังอาจนำไปดัดแปลงไปใช้ในการวัดดัชนีหักเหของแก๊สต่างๆ ได้อีกด้วย การวัดดัชนีหักเหนี้ ทำโดยนำแก๊สที่ต้องการวัดดัชนีหักเหบรรจุลงในหลอดที่มีปลายทั้งสองเป็นผิวราบ และนำหลอดนี้วางในแนวของลำแสงในลักษณะที่ปลายทั้งสองของหลอดตั้งฉากกับแนวลำแสง จากนั้นให้ทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวงมืด-สว่าง ขณะที่ทำการสูบแก๊สออกจากหลอดและให้นับจำนวนวงมืดที่เปลี่ยนไปโดยนับจากขณะที่มีแก๊สเต็มหลอดจนถึงขณะที่แก๊สหมดหลอด อินเตอร์เฟอริมิเตอร์ชนิดไมเคลสันเป็นประโยชน์มากในการวัดความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมที่ใกล้กันมาก

2.2 เลเซอร์

2.2.1 ความเป็นมาของเลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission Radiation หมายถึง การขยายคลื่นแสงโดยการแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบถูกเร้า ผู้คิดค้นหลักการของเลเซอร์เป็นคนแรกคือ ทาวเนต (C.H. Townes) ในปี ค.ศ. 1957 เขาได้พิสูจน์หลักการของเลเซอร์ โดยการสร้างเครื่องมือที่เรียกว่า เมเซอร์แอมโมเนีย (NH_3 Maser) เครื่องมือนี้จะให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงไมโครเวฟและคลื่นดังกล่าวเกิดจากการเปล่งแสงแบบถูกเร้าของโมเลกุลแอมโมเนีย ดังนั้นเขาจึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า MASER ซึ่งย่อมาจาก Microwave Amplification by Stimulated Emission Radiation จากหลักการเดียวกันนี้ ไมมาน (T.H. Maiman) ได้สร้างเลเซอร์ทับทิมขึ้นเป็นผลสำเร็จในปี ค.ศ. 1960 และถือว่าเป็นเลเซอร์เครื่องแรกของโลก เลเซอร์ทับทิมจะ

ใช้ผลึกทับทิมเป็นตัวกลางเลเซอร์ ในปี ค.ศ. 1961 จาวาน (A. Javan) และคณะได้สร้างเลเซอร์ฮีเลียมนีออนขึ้นเป็นผลสำเร็จและถือว่าเป็นเลเซอร์ก๊าซระบบแรกของโลก เลเซอร์ฮีเลียมนีออนมีก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนเป็นตัวกลางเลเซอร์ จากความสำเร็จในการสร้างเลเซอร์ทับทิมและเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ภายหลังเลเซอร์ชนิดต่างๆ ก็ถูกสร้างขึ้นมากมายและตัวกลางเลเซอร์ที่ใช้ก็มีทั้งแบบ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงทำให้เลเซอร์มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปทั้งทางด้านความยาวคลื่น กำลัง และลักษณะของลำแสงที่ได้

2.2.2 ระบบเลเซอร์ (Laser system)

ระบบเลเซอร์โดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1) สารเลเซอร์หรือตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium)

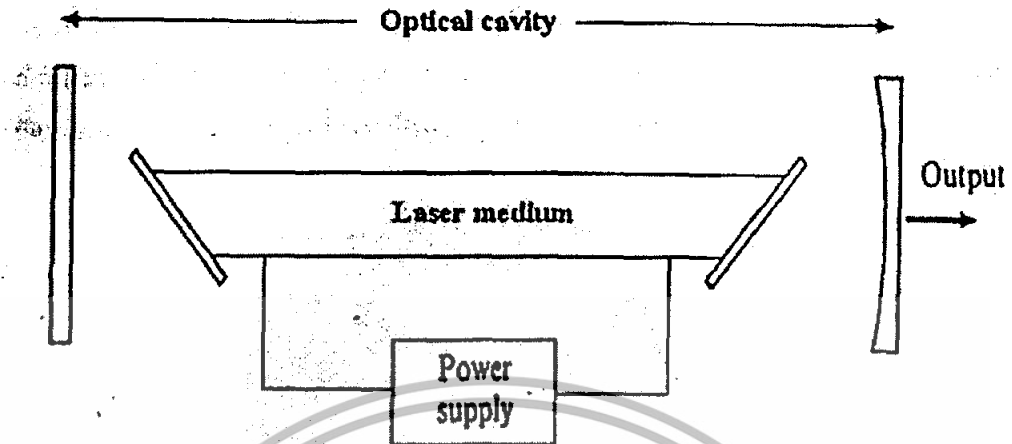
ตัวกลางเลเซอร์จะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผันขึ้นภายในเนื้อสาร และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลแบบถูกเร้าได้ ตัวกลางเลเซอร์ เช่น ผลึกทับทิม (Ruby crystal) เป็นตัวกลางเลเซอร์ของเลเซอร์ทับทิม (Ruby laser) ก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนเป็นตัวกลางเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน สารละลายสีย้อมผ้า (Dye solution) เป็นตัวกลางเลเซอร์ของเลเซอร์ของเหลว (Dye laser) เป็นต้น

2) แหล่งจ่ายกำลัง (Power supply)

แหล่งจ่ายกำลังทำหน้าที่จ่ายศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงให้แก่ตัวกลางเลเซอร์ เพื่อกระตุ้นให้อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์เกิดสถานะประชากรผกผัน การกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์สามารถทำได้หลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับตัวกลางเลเซอร์นั้นๆ โดยทั่วไปการกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์มักจะกระทำในรูปของออปติคัลปั๊มปีง (Optical pumping) เช่น การฉายแสงจากหลอดแฟลชแลมป์ (Flash lamp) ให้แก่ผลึกทับทิมในกรณีของเลเซอร์ทับทิมหรือการเกิดก๊าซดิสชาร์จ (Gas discharge) ในกรณีของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน เป็นต้น

3) ออปติคัลควิตี้ (Optical cavity) หรือ ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator)

ออปติคัลควิตี้จะประกอบด้วยกระจกเคลือบสารไดอิเล็กทริกหลายๆ ชั้น ปิดหัวท้ายตัวกลางเลเซอร์เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงกลับไปกลับมาระหว่างกระจกทั้งสอง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเข้มแสงและกระตุ้นให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดจากการเปล่งแสงแบบถูกเร้า แสงดังกล่าวจะถูกทำให้สะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสองและผ่านตัวกลางเลเซอร์จนกระทั่งแสงนั้นมีความเข้มสูงพอที่จะผ่านออกจากออปติคัลควิตี้มาเป็นแสงเลเซอร์ต่อไป



รูปที่ 2.3 แสดงระบบเลเซอร์ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวกลางเลเซอร์แหล่งจ่ายกำลังและออปติคัลคาวิตี

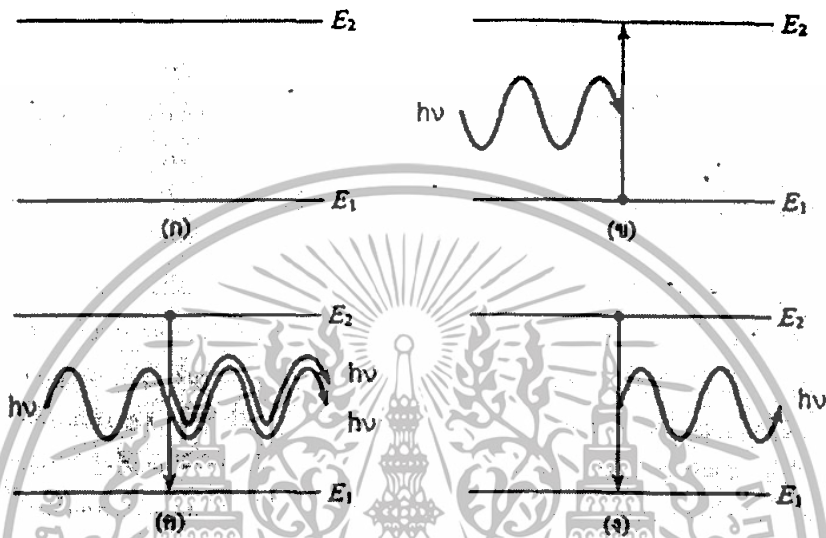
2.2.3 หลักการเกิดแสงเลเซอร์

1) การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated emission)

พิจารณาระดับพลังงาน E_1 และ E_2 ดังรูปที่ 2.4 (ก) เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_1 ขึ้นไปสู่ E_2 อิเล็กตรอนจะมีการดูดกลืนพลังงาน ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_2 ลงมาสู่ E_1 อิเล็กตรอนจะมีการคายพลังงานออกมา พลังงานที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมานั้นจะมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง ($E_2 - E_1$) ถ้าให้พลังงานที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมาเป็นพลังงานแสงหรือโฟตอน ดังนั้นการดูดกลืนแสง (Light absorption) ดังรูปที่ 2.4 (ข) เรียกว่า การดูดกลืนแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous absorption) และการเปล่งแสง (Light emission) ดังรูปที่ 2.4 (ง) เรียกว่า การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous emission) การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนโฟตอนเข้าไป จากนั้นอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนสถานะขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 ซึ่งเป็นสถานะกระตุ้น แต่อิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงานนี้ชั่วคราว เมื่อหมดเวลาชีวิต (Life time) อิเล็กตรอนก็จะตกกลับมายังระดับพลังงาน E_1 ตามเดิมและคายพลังงานในรูปแบบของโฟตอนออกมา

ถ้าในระหว่างที่อิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 (ยังไม่หมดเวลาชีวิต) มีโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1 = h\nu$ เข้ามากระตุ้น อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_2 นี้ไม่จำเป็นต้องรอให้หมดเวลาชีวิตก็สามารถตกกลับมายังระดับพลังงาน E_1 ได้และอิเล็กตรอนก็จะคายโฟตอนออก พลังงานของโฟตอนที่อิเล็กตรอนคายออกมามีค่าเท่ากับ $E_2 - E_1 = h\nu$ เช่นเดียวกับโฟตอนที่เข้ามา

กระตุ้น โฟตอนทั้งสองตัวนี้จะเหมือนกันทั้งในทิศทางเคลื่อนที่ ความยาวคลื่น และเฟส การเปล่งแสงลักษณะนี้จะเรียกว่า การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated emission) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4 (ค) ลักษณะการเปล่งแสงแบบถูกเร้าจะเป็นที่มาของการเกิดแสงเลเซอร์



รูปที่ 2.4 แสดงการดูดกลืนแสงแบบเกิดขึ้นเอง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนโฟตอนเข้าไปแล้วอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_1 ขึ้นไปสู่ E_2 (ข) การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_2 ลงมาสู่ E_1 อิเล็กตรอนจะคายโฟตอนออกมา (ง) และการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้า ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_2 ถูกโฟตอนเข้ามากระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนตกกลับมายังระดับพลังงาน E_1 พร้อมกับคายโฟตอนออกมา (ค)

2) ประชากรผกผัน (Population inversion)

ถ้าจำนวนอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_1 และ E_2 มีค่าเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ ที่สภาวะสมดุลทางความร้อน (Thermal equilibrium) จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายของโบลซ์มาน (Boltzman's constant) ดังสมการ $\frac{n_1}{n_2} = e^{-\left(\frac{E_2-E_1}{kT}\right)}$ เมื่อ k คือค่าคงที่ของโบลซ์มาน (Boltzman's constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.38×10^{-23} J/K และ T คือ อุณหภูมิของระบบ ($^{\circ}\text{K}$) จากสมการจะเห็นว่าเทอมเอ็กโพเนนเชียลมีค่าเป็นลบ แสดงว่าที่สภาวะสมดุลทางความร้อน อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับพลังงาน E_1 นั่นคือ $n_1 \gg n_2$ เมื่อมีการฉายแสง (โฟตอน) ที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ เข้าไปในระบบ จะทำให้มีการดูดกลืนแสงมากกว่าการเปล่งแสง

ดังนั้นถ้ามีวิธีการทำให้อิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 แทนที่จะอยู่ระดับพลังงาน E_1 นั่นคือ $n_1 \ll n_2$ เมื่อมีการฉายแสงที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ เข้าไปในระบบ ก็จะทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าขึ้น เรียกสภาวะที่ทำให้ $n_1 \ll n_2$ ว่า ประชากรผกผัน (Population inversion) จะเห็นว่าการเกิดสภาวะประชากรผกผันเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเกิดเปล่งแสงแบบถูกเร้า ดังนั้นในระบบเลเซอร์จึงต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลในตัวกลางเลเซอร์เพื่อทำให้เกิดสภาวะประชากรผกผันอยู่ตลอดเวลา การป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางเลเซอร์ในลักษณะนี้เรียกว่า การปั๊มปิง (Pumping)

3) การขยายคลื่นแสงโดยใช้ออปติคัลคาวิตี (Light amplification by optical cavity)

ตามปกติในสภาวะสมดุลทางความร้อน อัตราส่วนระหว่างการเกิดเปล่งแสงแบบถูกเร้ากับการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าน้อย ถ้าต้องการให้เกิดเปล่งแสงแบบถูกเร้ามากกว่าการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง จะต้องใช้โฟตอนที่มีความเข้มของพลังงานสูง ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_2 ดังนั้นจึงมีการสร้างระบบออปติคัลคาวิตีให้แก่เลเซอร์เพื่อให้แสงสะท้อนกลับไปมาภายในออปติคัลคาวิตี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเข้มของพลังงานให้กับโฟตอน ทำให้อัตราการเกิดเปล่งแสงแบบถูกเร้ามีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง โฟตอนพลังงานสูงนี้จะไปเร้าให้เกิดโฟตอนตัวใหม่ๆ ขึ้นทำให้จำนวนโฟตอนในออปติคัลคาวิตีมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นที่มาของการขยายคลื่นแสง (Light amplification) นั่นเอง

ออปติคัลคาวิตีของเลเซอร์เป็นการนำเอากระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นมาวางขนานกัน โดยมีตัวกลางเลเซอร์อยู่ระหว่างกระจกทั้งสอง ลักษณะของกระจกที่ใช้อาจเป็นกระจกเรียบหรือกระจกเว้าก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับกรออกแบบเพื่อให้ได้ออปติคัลคาวิตีที่มีเสถียรภาพดีและเหมาะสมกับเลเซอร์ชนิดนั้นๆ กระจกทั้งสองจะทำหน้าที่รวบรวมลำแสงให้สะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ในเนื้อตัวกลางเลเซอร์เท่านั้น แต่เนื่องจากผลของการเลี้ยวเบนของแสงทำให้ไม่สามารถรวมแสงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยกระจกแบนเรียบ เพราะจะมีแสงบางส่วนกระจายออกตามขอบกระจกนั้น เป็นผลทำให้เลเซอร์มีเสถียรภาพต่ำ ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียและผลของการเลี้ยวเบนดังกล่าว กระจกที่ใช้ทำออปติคัลคาวิตีจึงมักจะใช้กระจกโค้งเว้าที่มีรัศมีความโค้งยาวๆ ข้างหนึ่งเพื่อบีบลำแสงลงเล็กน้อยตามความเหมาะสมและกระจกแบนเรียบอีกข้างหนึ่ง ซึ่งออปติคัลคาวิตีนี้เป็นแบบที่ปรับแต่งได้ง่ายที่สุดในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปออปติคัลคาวิตีของเลเซอร์มักจะมีลักษณะเป็นคาวิตีแบบเพบริ-เพอโรต์ (Fabry Perot cavity) คือจะสะท้อนแสงหรือขยายแสงเฉพาะที่ความยาวคลื่นที่กำกับคาวิตีนั้นๆ ดังนั้นถ้าแสงที่เกิดขึ้นภายในคาวิตีมีหลายความยาวคลื่น ความยาวคลื่นของแสงที่ไม่กำกับคาวิตีนี้ ก็จะ

สูญเสียกำลังไปหรือไม่ถูกขยายความเข้ม ดังนั้นจะเหลือเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งเท่านั้นที่ถูกขยายความเข้ม จึงเป็นผลทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นแสงสีเดียว (Monochromatic light)

2.2.4 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

1) แสงสีเดียว (Monochromaticity)

เลเซอร์ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือมีความกว้างของสเปกตรัมความยาวคลื่น (Spectrum width) ที่แคบมากๆ การมีคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียวเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานแบบต่อเนื่อง (Discrete energy levels) ในอะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ ทำให้ความถี่ของแสงที่ได้มีค่าแน่นอนตามผลต่างของระดับพลังงาน ($\nu = \frac{\Delta E}{h}$) และกลไกการขยายคลื่นแสงด้วยออปติคัลคาวิตี ทำให้เกิดแสงที่มีความเข้มสูงเพียงความถี่เดียว ข้อดีอีกอย่างของการเป็นแสงสีเดียว คือ พลังงานที่ป้อนให้แก่เลเซอร์ถูกนำมาใช้ในการสร้างแสงเลเซอร์ที่มีความถี่เดียวเท่านั้น

2) มีทิศทางที่แน่นอน (Directionality)

เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงเป็นลำแสงขนาน โดยลำแสงจะพุ่งไปในทิศทางเดียวกัน การเป็นลำแสงขนานจะทำให้การกว้างออกของลำแสง (Beam divergence) มีค่าเพียงเล็กน้อยเมื่อแสงเลเซอร์เดินทางเป็นระยะทางไกลๆ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้แสงเลเซอร์มีทิศทางที่แน่นอนคือ การที่โฟตอนส่วนใหญ่ในออปติคัลคาวิตีมีทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนแสง (Optical axis) หรือตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำออปติคัลคาวิตี ซึ่งแสงในแนวแกนแสงนี้มักจะถูกขยายสัญญาณจนกลายเป็นแสงเลเซอร์

3) ความเข้มแสงสูง (High intensity)

การเป็นแสงที่มีความเข้มสูงของแสงเลเซอร์ถือเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนแหล่งกำเนิดแสงอื่น เมื่อทำการโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากๆ จะทำให้แสงเลเซอร์มีความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) สูงมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น การตัด การเจาะและการเชื่อม เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมนำเอาเลเซอร์ไปใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์และการแพทย์ด้วย เมื่อแสงเลเซอร์ตกกระทบกับวัตถุใด จะเกิดการระยิบระยับขึ้น (Laser specker) โดยเฉพาะวัตถุที่มีผิวหยาบหรือแม้แต่ในอากาศที่มีฝุ่นละอองหรืออนุภาคแขวนลอยเล็กๆ เนื่องจากเลเซอร์จะเกิดการสะท้อนแบบไม่มีทิศทางกับอนุภาคดังกล่าวจึงทำให้เกิดการระยิบระยับขึ้น

4) ความเป็นแสงอาพันธ์ (Coherency)

ลักษณะเด่นที่สำคัญของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงทั่วไป คือ การเป็นแสงอาพันธ์ (Coherent light) แสงอาพันธ์ คือ แสงที่มีความเป็นระเบียบของคลื่นแสง คลื่นแสงจะเดินทางไปใน

ทิศทางเดียวกัน โดยมีเฟสเหมือนกัน (In phase) แสงที่อยู่ในออปติคัลควิตี้จะมีความเป็นอาพันธ์สูง แต่เมื่อแสงเดินทางออกจากเลเซอร์และเดินทางผ่านอากาศหรือตัวกลางใดๆ แสงเลเซอร์มักจะเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางนั้นทำให้สูญเสียพลังงานและทิศทางเคลื่อนที่ทำให้ความเป็นอาพันธ์ลดลง ระยะทางที่แสงเลเซอร์เดินทางได้และยังคงความเป็นอาพันธ์ดั้งเดิม จะเรียกระยะทางดังกล่าวว่า ความยาวอาพันธ์ (Coherent length) แสงที่เดินทางผ่านตัวกลางแต่ละชนิดจะมีความยาวอาพันธ์ไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง ปริมาณจุดบกพร่องและความสม่ำเสมอของตัวกลางนั้นๆ ดังนั้นตัวกลางเลเซอร์ที่สมบูรณ์ มีจุดบกพร่องน้อยและมีเนื้อสารสม่ำเสมอจะทำให้แสงที่มีความยาวอาพันธ์สูง ตัวกลางดังกล่าวมักจะถูกเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

5) โพลาริเซชัน (Polarization)

แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมานั้นโดยทั่วไปจะไม่ใช่แสงโพลาไรซ์ แต่ในการสร้างเลเซอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงมักจะหาทางลดการสูญเสียพลังงานของคลื่นแสงที่สะท้อนกลับ ไปกลับมาในควิตี้ ก่อนที่จะได้แสงเลเซอร์กำลังสูงออกมา วิธีนี้ทำโดยตัดปลายหลอดเลเซอร์หรือตัวกลางเลเซอร์ให้เอียงทำมุมบรีวสเตอร์ (Brewster's angle) กับแนวแกนของหลอดเลเซอร์หรือตัวกลางเลเซอร์ จะทำให้แสงที่สะท้อนจากกระจกที่ประกอบเป็นเลเซอร์ควิตี้พุ่งเข้าสู่หลอดเลเซอร์ทั้งหมด ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานของคลื่นแสงเนื่องจากการสะท้อนหรือหักเห กระจกที่ปิดปลายหลอดเลเซอร์ และทำมุมบรีวสเตอร์นี้เรียกว่า บรีวสเตอร์วินโดว์ (Brewster window) ซึ่งการใช้บรีวสเตอร์วินโดว์นี้จะทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้เป็นแสงโพลาไรซ์ที่สูงมาก เนื่องจากแสงจะต้องสะท้อนกลับ ไปกลับมาในควิตี้หลายรอบ จึงเหมือนเป็นการกลั่นกรองความเป็นโพลาไรซ์ของแสงเลเซอร์ให้สูงขึ้นและแสงเลเซอร์ที่ได้จะมีแนวของการโพลาไรซ์ขนานไปกับระนาบตกกระทบกับกระจก

2.2.5 โหมดของแสงเลเซอร์

ออปติคัลควิตี้ของเลเซอร์มักจะทำหน้าที่เป็นอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์แบบแฟบริ-เพอโรต์ (Fabry-Perot interferometer) มีผลทำให้แสงเลเซอร์ที่ผ่านออกมามีความถี่ต่างๆ อยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของออปติคัลควิตี้ต่างๆ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโหมดของแสงเลเซอร์ 2 แบบด้วยกันคือ โหมดตามยาว (Longitudinal modes) และ โหมดตามขวาง (Transverse modes) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

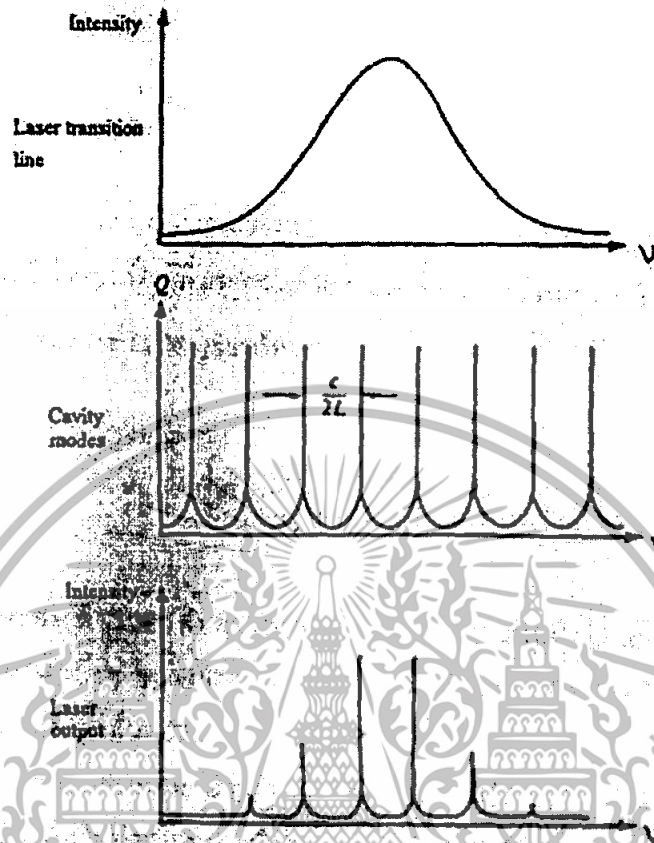
2.2.5.1 โหมดตามยาว (Longitudinal modes) หรือ โหมดตามแกน (Axial modes)

โดยทั่วไปควิตี้ของเลเซอร์จะกำกับความถี่ของแสงที่ทำให้ค่า Q (Quality factor) มีค่าสูง และค่าการสูญเสีย (Loss) ต่ำ ถ้าค่าการสูญเสียนี้มีค่าน้อยกว่าอัตราขยาย (Gain) ในตัวกลางเลเซอร์ก็จะเกิดแสงเลเซอร์ แต่เงื่อนไขที่ค่า Q สูงนี้ไม่ได้เกิดขึ้นในทุกๆ ความถี่ของแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้นในเลเซอร์ควิตี้จะมีเฉพาะบางความถี่เท่านั้นที่เข้าเงื่อนไขของการกำกับ เช่นเดียวกับ

เงื่อนไขของการผ่านออกไปได้ของแสงในอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์แบบเพริ-เพอโรต์ ดังนั้นเอาต์พุตของเลเซอร์จึงไม่ได้มีรูปร่างเหมือนกับสเปกตรัมของการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง แต่จะประกอบด้วยชุดของเส้นสเปกตรัมตามค่าความถี่ที่มีค่า Q สูงภายในควาวิตีของเลเซอร์นั้น

ในการกำหนดเงื่อนไขที่ทำให้ค่า Q สูงในเลเซอร์ควาวิตี จะพิจารณาจากคลื่นระนาบที่เคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับกระจกที่ประกอบกันเป็นเลเซอร์ควาวิตี ระยะทางที่แสงเดินทางได้ครบรอบโดยสะท้อนกับกระจกทั้งสองนั้นมีค่าเท่ากับ $2L$ เมื่อ L คือระยะห่างระหว่างกระจกทั้งสอง เฟสรวมที่เปลี่ยนไปจากการเดินทางของคลื่นแสงที่เดินทางครบหนึ่งรอบจะเท่ากับ $\frac{4\pi L}{\lambda}$ ถ้าคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมาเกิดการกลับเฟสไป 180° กับคลื่นแสงเดิมและมีขนาดเท่าเดิม จะทำให้ไม่เกิดคลื่นแสงรวมที่มีพลังงานสูงพอที่จะไปกระตุ้นให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าได้ แม้จะมีสภาพประชากรผกผันอยู่ก็ตาม แต่ถ้าคลื่นแสงที่ความถี่ที่ทำให้เกิดการสะท้อนในลักษณะเฟสตรงกัน (In phase) กับคลื่นแสงเดิม คลื่นแสงจะซ้อนทับกันแบบเสริม ทำให้คลื่นแสงมีพลังงานสูงขึ้นและเพียงพอต่อการชักนำให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าที่ความถี่นี้ หรือพูดอีกอย่างว่ากระจกที่ประกอบกันเป็นเลเซอร์ควาวิตี จะทำให้แสงเกิดการสะสมพลังงานขึ้น และเมื่อคลื่นแสงซ้อนทับกันพอดีควาวิตีนั้นจะมีค่า Q สูง เงื่อนไขที่ทำให้เกิดการซ้อนทับกันพอดีหรือการซ้ำตัวเองของคลื่นแสงคือการกำหนดให้ความยาวของเลเซอร์ควาวิตีมีขนาดเท่ากับเลขจำนวนเต็มของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น $L = q\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ เมื่อ q เป็นเลขจำนวนเต็มซึ่งปกติจะมีค่ามาก เนื่องจากค่า q เป็นเลขจำนวนเต็มจึงทำให้มีค่าความยาวคลื่นหลายค่าที่เข้าเงื่อนไขที่คลื่นแสงหรือสนามไฟฟ้าเกิดการซ้ำตัวเอง เรียก รูปแบบ (Pattern) ที่สนามไฟฟ้าซ้ำตัวเองนี้ว่า โหมดตามแกน หรือ โหมดตามยาว โดยความถี่ของแต่ละโหมดหาได้จาก $\nu_q = q\left(\frac{c}{2L}\right)$ ซึ่งเป็นความถี่ของแสงที่เลเซอร์ควาวิตีนั้นกำทร เมื่อ c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ ค่าความถี่ของโหมดที่อยู่ติดกันหรือระยะห่างระหว่างโหมดหาได้จาก $\Delta\nu = \nu_{q+1} - \nu_q = \frac{c}{2L}$ ซึ่งจะเห็นว่าระยะห่างระหว่างโหมดของแสงเลเซอร์ขึ้นอยู่กัค่า L เท่านั้น

เนื่องจากสเปกตรัมความยาวคลื่น ของแสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะมีความกว้าง ดังนั้นจะพบว่าแสงเลเซอร์จะมีหลายโหมดตามแกนอยู่ภายใต้สเปกตรัม เอาต์พุตของเลเซอร์จึงประกอบด้วยเส้นความถี่เดี่ยวๆ จำนวนหนึ่งที่ห่างกันเท่ากับ $\frac{c}{2L}$ ดังรูปที่ 2.5 ความถี่เหล่านี้เรียกว่า ความถี่ของโหมดตามแกนของเลเซอร์



รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดโหมดตามแกนของเลเซอร์เมื่อใช้เลเซอร์ควาวิตี้ยาว L โดยที่รูปบนแสดงไลน์วิดซ์ของแสงเลเซอร์ รูปกลางแสดงโหมดตามแกนซึ่งเกิดจากความถี่ของแสงที่กำหนดกับเลเซอร์ควาวิตี้ความยาว L รูปล่างแสดงแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยโหมดตามแกนจำนวนหนึ่งที่ห่างกัน $\frac{c}{2L}$ ซึ่งอยู่ภายในความกว้างไลน์วิดซ์ของเลเซอร์

2.2.5.2 โหมดตามขวาง (Transverse modes)

เนื่องจากการพิจารณาโหมดตามแกนจะพิจารณาเฉพาะคลื่นแสงที่เดินทางในแนวแกนของเลเซอร์ควาวิตี้ แต่ในความเป็นจริงแสงที่เดินทางในเลเซอร์ควาวิตี้นั้นประกอบไปด้วยแสงตามแนวแกนและแสงที่เบนห่างจากแนวแกนแสงออกมาเล็กน้อย ซึ่งคลื่นแสงเหล่านี้ก็จะมีการซ้อนทับกันเมื่อแสงเดินทางสะท้อนกลับไปกลับมาในควาวิตี้ รูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ซ้อนทับตัวเองจึงมีโหมดตามขวางเกิดขึ้นภายในควาวิตี้ของเลเซอร์ด้วย

การแสดงลักษณะโหมดของแสงเลเซอร์ (ความถี่) โดยมีทั้งโหมดตามแกนและโหมดตามขวางสามารถกำหนดได้คือ

$$v_{mnq} = \left(q + (m+n+1) \frac{\cos^{-1}(g_1 g_2)}{\pi} \right) \frac{c}{2L} \quad (2.1)$$

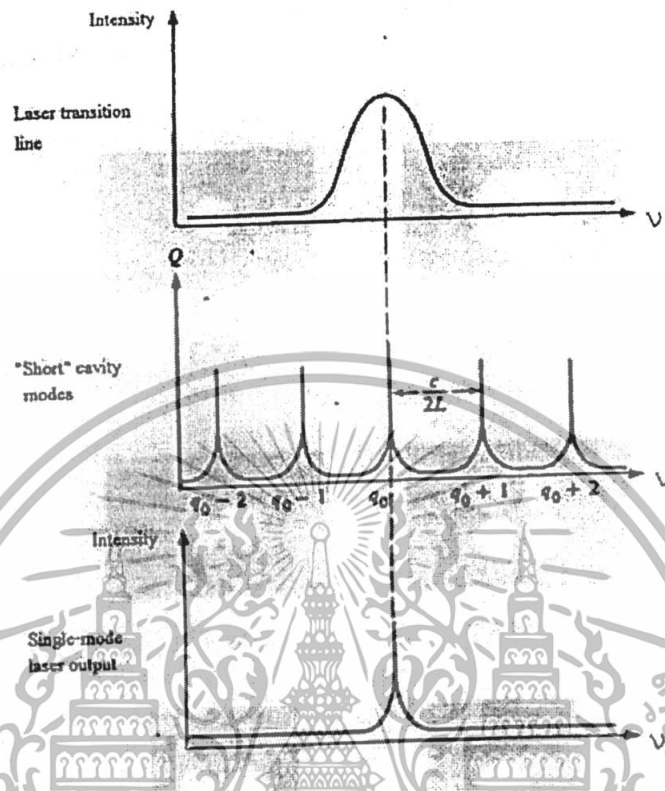
เมื่อ m , n และ q เป็นเลขจำนวนเต็ม g_1 และ g_2 เป็นพารามิเตอร์จี (g-parameter) ของกระจก ในกรณีที่เลเซอร์ควาดีประกอบด้วยกระจกที่โค้งเล็กน้อยและเหมือนกันจะได้ $g_1 = g_2$ และ $\frac{L}{R} \ll 1$ ดังนั้นสมการที่ (2.1) เขียนใหม่ได้

$$v_{mnq} \approx \left(q + \frac{m+n+1}{\pi} \sqrt{\frac{2L}{R}} \right) \frac{c}{2L} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.2) ค่า q แสดงถึงโหมดตามแกน ส่วนค่า m และ n แสดงถึงโหมดตามขวาง ดังนั้นโหมดหนึ่งๆ ของเลเซอร์จะแสดงด้วยตัวเลข 3 ตัว โดยสัญลักษณ์ของโหมดของแสงเลเซอร์จะเขียนแทนด้วย TEM_{mnq} โดยที่ TEM ย่อมาจาก Transverse Electro-Magnetic Wave เนื่องจากค่า q มีจำนวนมากมาย สำหรับขนาดของเลเซอร์ที่ใช้งานโดยทั่วไป ดังนั้นค่าที่เหมาะสมของ q จึงไม่มี ทำให้ไม่มีความหมายนักในทางปฏิบัติ ดังนั้นในการเขียนบอกโหมดของเลเซอร์จึงมักตัดค่า q ออกเหลือเพียง TEM_{mn} แต่ก็ยังหมายความว่าค่า q อยู่ในคลื่นแสงนั้นเสมอ ดังรูปที่ 2.7

เนื่องจากจำนวนโหมดตามแกนนั้นถูกกำหนดจากความกว้างของไลน์วิดซ์และความยาวของเลเซอร์ควาดี ดังนั้นยังเลเซอร์ควาดีมีขนาดความยาวมากเท่าไร ระยะห่างระหว่างโหมดก็จะแคบลงเท่านั้น จึงมีจำนวนโหมดตามแกนเกิดขึ้นมากมายภายในช่วงความกว้างของไลน์วิดซ์ ส่วนจำนวนของโหมดตามขวางนั้นกำหนดได้จากรูปร่างและขนาดของกระจกตลอดจนโครงสร้างของเลเซอร์เมื่อมีจำนวน โหมดเกิดขึ้นมากมายในเลเซอร์ จึงเรียกเลเซอร์แบบนี้ว่า เลเซอร์แบบหลายโหมด (Multimode laser)

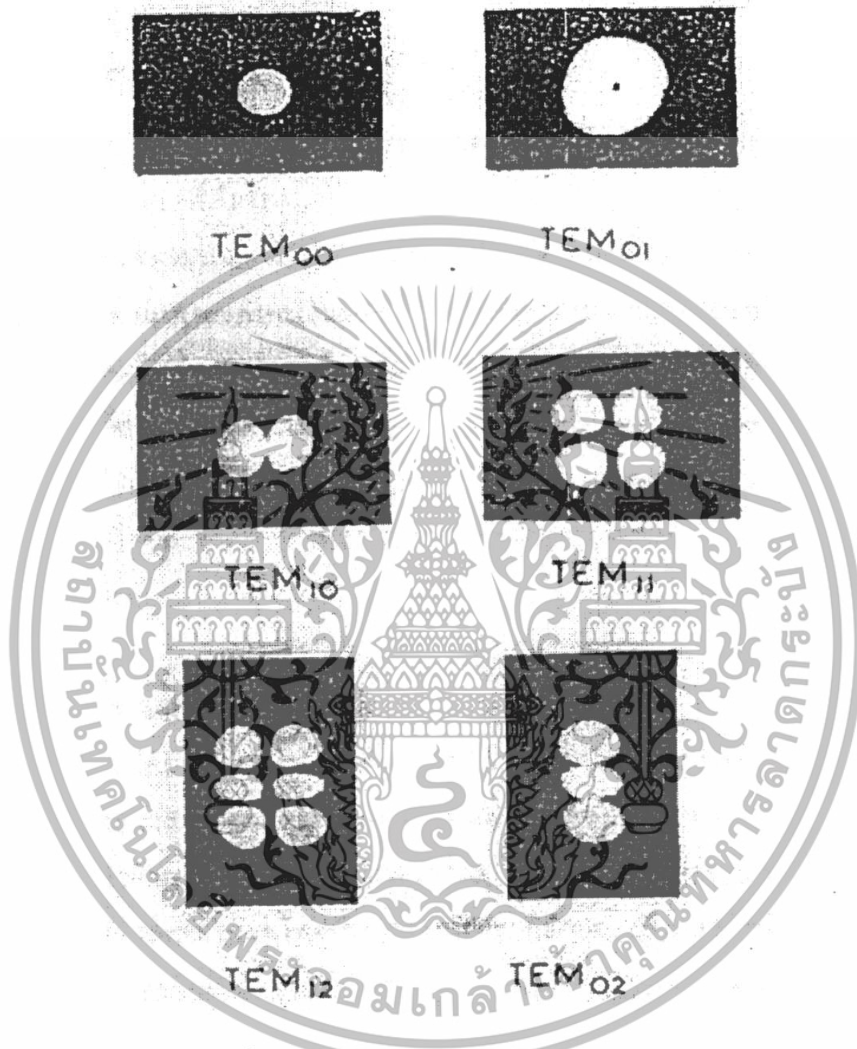
เมื่อมีการใส่องค์ประกอบบางชนิดที่เหมาะสมไว้ภายในเลเซอร์ควาดีก็สามารถปรับแต่งเลเซอร์หลายโหมดให้เป็นเลเซอร์โหมดเดียวได้ เช่น การใส่รูแสงไว้ในแกนแสงเพื่อตัดโหมดตามขวางออกเหลือแต่โหมด TEM_{00} ออกมา จากนั้นจึงมาจัดการกับโหมดตามแกนโดยการออกแบบควาดีที่สามารถให้โหมดตามแกนเพียงโหมดเดียว ซึ่งควาดีดังกล่าวจะต้องให้ไลน์วิดซ์ที่แคบมาก ส่วนระยะห่างของควาดีที่ทำให้เกิดโหมดเดี่ยวนี้อาจต้องมีค่ากว้างกว่าไลน์วิดซ์ของแสงเลเซอร์เล็กน้อยซึ่งค่าไลน์วิดซ์ของเลเซอร์นี้ไม่สามารถควบคุมได้เพราะเป็นลักษณะเฉพาะของแสงเลเซอร์แต่ละชนิด ดังนั้นระยะห่างของควาดีโหมดเดี่ยวนี้อาจจำกัดด้วยค่าไลน์วิดซ์ของเลเซอร์ที่เล็กมาก ดังรูปที่ 2.6 เมื่อควาดีมีขนาดสั้นจึงเป็นสาเหตุของขีดจำกัดด้านกำลังของเลเซอร์



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการทำให้แสงเลเซอร์หลายโหมดกลายเป็นแสงเลเซอร์โหมดเดียวโดยการใส่ควิดที่มีขนาดสั้นๆ โดยรูปบนแสดงไลน์วิดซ์ของแสงเลเซอร์ที่แคบมากเนื่องจากการออกแบบเลเซอร์ควิด รูปกลางแสดงโหมดตามแกนที่เกิดขึ้นจากการใช้เลเซอร์ควิดที่มีขนาดสั้น ซึ่งทำให้ระยะห่างระหว่างโหมดมากขึ้น รูปล่างแสดงแสงเลเซอร์โหมดเดียวที่เกิดขึ้นจากการใช้เลเซอร์ควิดที่มีขนาดสั้น

การทำให้แสงเลเซอร์เป็นแสงโหมดเดียวอีกวิธีหนึ่ง คือ การทำให้เกิดการสูญเสียแก่โหมดอื่นๆ และเหลือไว้เพียงโหมดตามแกนเพียงโหมดเดียว ซึ่งทำได้โดยการใส่ควิดแบบแฟบริ-เพอโรต์ที่มีขนาดคงที่เข้าไปในเลเซอร์ควิด ควิดที่ใส่เพิ่มเข้ามานี้เรียกว่า อิตาลอน (Etalon) เป็นแผ่นแก้วพิเศษซึ่งผิวทั้งสองขัดจนเรียบและไม่มีการเคลือบสารใดๆ จึงมีการสะท้อนแสงน้อยมาก เนื่องจากมีการสะท้อนแสงต่ำ ทำให้การกำรของอิตาลอนมีค่ากว้างกว่าการกำรของเลเซอร์ควิด เนื่องจากระยะห่างของควิดของอิตาลอนสั้นกว่าเลเซอร์ควิด ทำให้ระยะห่างระหว่างค่าความถี่ที่กำรของอิตาลอนจึงกว้างกว่าระยะห่างระหว่างค่าความถี่กำรของเลเซอร์ควิด ดังนั้นจึงทำให้เหลือโหมดตามแกนเพียงโหมดเดียว เรียกเลเซอร์แบบนี้ว่า เลเซอร์โหมดเดียว (Single-mode laser)

ถ้าเอียงอิตาลอนให้ทำมุมกับแกนเสียง ค่าความถี่ที่กำรขของอิตาลอนจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะ
ทำให้ได้แสงเลเซอร์ที่ความถี่ใหม่



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของโหมดตามขวาง TEM_{00} TEM_{01} TEM_{10} TEM_{11} TEM_{12} และ TEM_{02}

2.3 เลเซอร์ก๊าซ (Gas lasers)

เลเซอร์ก๊าซมีตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสถานะก๊าซและอาศัยวิธีก๊าซดิสชาร์จ เพื่อทำให้เกิด
ประชากรผกผันและการเปล่งแสงแบบถูกเร้า วิธีก๊าซดิสชาร์จพลังงานจะถูกถ่ายเทให้แก่อะตอม
หรือโมเลกุลของก๊าซ โดยการชนด้วยอิเล็กตรอนอิสระและการชนกันเองระหว่างอะตอมหรือ
โมเลกุลของก๊าซนั้น แสงเลเซอร์ที่ได้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous wave: CW) トラบเท่าที่
ยังคงป้อนกระแสไฟฟ้าแก่ขั้วทั้งสองแก่หลอดเลเซอร์ เนื่องจากก๊าซสามารถเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งหลอด
เลเซอร์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้ดีทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooling)

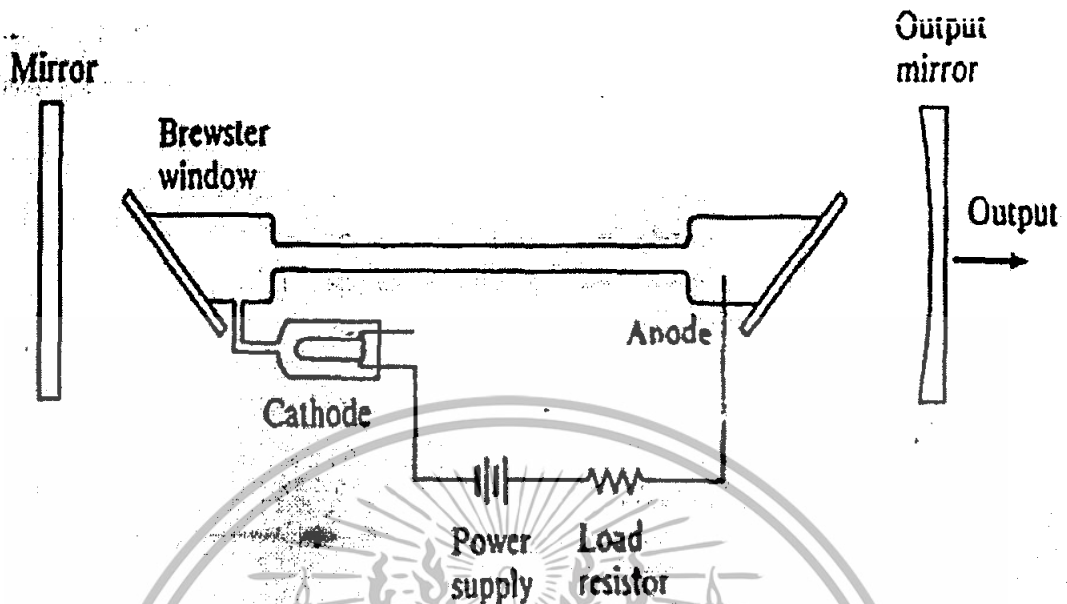
และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water cooling) ตัวอย่างของเลเซอร์ก๊าซเช่น เลเซอร์ฮีเลียมนีออน (He-Ne laser) เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ laser) เลเซอร์ไนโตรเจน (N₂ laser) เลเซอร์อาร์กอน (Ar⁺ laser) เลเซอร์ฮีเลียมแคดเมียม (He-Cd laser) และเลเซอร์เอกไซเมอร์ (Eximer laser) เป็นต้น

2.4 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน (He-Ne Laser)

เลเซอร์ฮีเลียมนีออนเป็นเลเซอร์ก๊าซระบบแรกของโลกซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1961 โดย จาวาน (A.Javan) และคณะที่ห้องทดลองเบลล์ (Bell telephone laboratory Co.) โดยก๊าซฮีเลียมผสมกับก๊าซนีออนเป็นตัวกลางเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่ได้มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1150 nm (อินฟราเรด) ในปี ค.ศ. 1962 ไวท์ (A.D.White) และคณะสามารถผลิตแสงเลเซอร์จากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm (สีแดง) ซึ่งเป็นแสงที่ตามองเห็นได้ทำให้เลเซอร์ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ปัจจุบันได้มีการผลิตแสงเลเซอร์สีเขียว สีเหลือง และสีส้มจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนเพื่อสนองต่อความต้องการในการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

2.4.1 โครงสร้างภายในของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

จากรูปที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนจะประกอบด้วยหลอดเลเซอร์ ซึ่งภายในหลอดเลเซอร์จะบรรจุก๊าซที่ผสมกันระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน ที่ปลายของหลอดเลเซอร์จะเป็นขั้วไฟฟ้าคือ แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) ซึ่งอยู่คนละด้านของหลอดขั้วแอโนดทำจากโลหะทั้งสแตนเลสและแคโทดทำจากอะลูมิเนียมมีลักษณะเป็นแฮลโลว์แคโทด (Hallow cathode) โดยขั้วทั้งสองต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เมื่อก๊าซนีออนเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าให้แสงที่มีความยาวคลื่น 1150, 3390 และ 632.8 nm ออกมา แสงเหล่านี้จะถูกทำให้มีความเข้มสูงขึ้น โดยการสะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างกระจกทั้งสองด้านของออปติคัลคาวิตี กระจกข้างหนึ่งฉาบด้วยไอโลหะที่ใช้การสะท้อนแสง 100% ส่วนอีกข้างหนึ่งเป็นกระจกที่ฉาบด้วยสารไดอิเล็กตริกบางๆ หลายชั้น เพื่อให้การสะท้อนแสงมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมายังออปติคัลคาวิตีและแสงอีกส่วนสามารถทะลุออกไปเป็นแสงเลเซอร์ ที่ปลายของหลอดเลเซอร์จะถูกทำให้เอียง เป็นมุมที่เรียกว่า มุมบริวสเตอร์ (Brewster Angle) เพื่อให้เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น ดังนั้นแสงเลเซอร์ที่ได้จากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนจึงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างพื้นฐานในการเกิดแสงเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

2.4.2 หลักการเกิดแสงเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เมื่อป้อนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ($\approx 10\text{kV}$) จากแหล่งจ่ายกระแสให้กับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง จะทำให้เกิดการดีสชาร์จภายในหลอดเลเซอร์ (Discharge pumping) เกิดอิเล็กตรอนอิสระ เนื่องจากก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซที่ถูกไอออไนซ์ (Ionized) ได้ง่ายกว่าก๊าซนีออน ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนอิสระชนกับก๊าซฮีเลียมจะถ่ายเทพลังงานให้กับก๊าซฮีเลียม ทำให้ก๊าซฮีเลียมที่สถานะพื้น (Ground state) ถูกกระตุ้น ไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (Excited state) 2^3s และ 2^1s เมื่อก๊าซฮีเลียมที่สถานะกระตุ้นชนกับก๊าซนีออนที่สถานะพื้น (Atomic collision between He and Ne atom) ก๊าซฮีเลียมจะถ่ายเทพลังงานให้กับก๊าซนีออน จากนั้นก๊าซฮีเลียมก็จะกลับไปยังสถานะพื้น เมื่อก๊าซนีออนได้รับพลังงานก็จะถูกกระตุ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น $4s$ และ $5s$ ตามลำดับ โดยที่สถานะกระตุ้น 2^3s กับ $4s$ และ 2^1s กับ $5s$ จะมีระดับพลังงานใกล้เคียงกัน

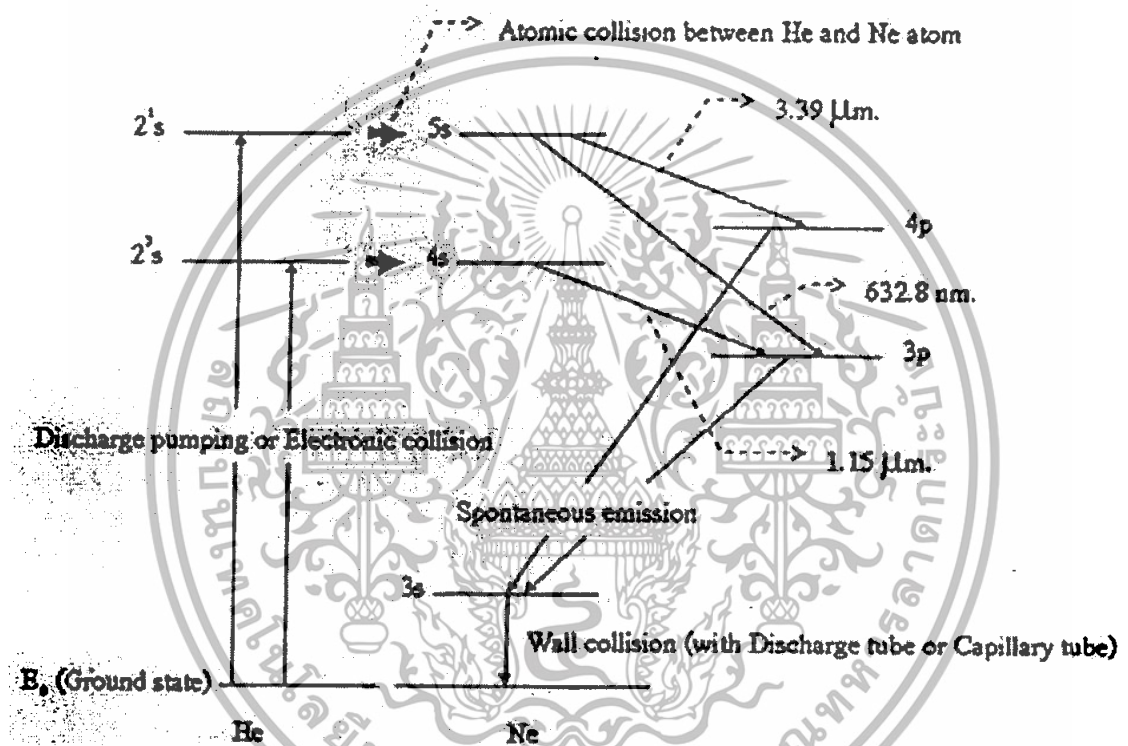
ที่สถานะกระตุ้น $4s$ และ $5s$ ก๊าซนีออนจะเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าให้แสงที่มีความยาวคลื่น $1150, 3390, 632.8\text{ nm}$ แล้วย้ายไปยังระดับพลังงาน $3p$ และ $4p$ ตามลำดับ ที่ระดับพลังงาน $3p$ และ $4p$ ก๊าซนีออนจะเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous emission) และลดระดับพลังงานอย่างรวดเร็ว (Fast decay) มาสู่ระดับพลังงาน $3s$ ที่ระดับพลังงานนี้ก๊าซนีออนจะชนกับผนังของหลอดเลเซอร์ (Wall collision) สูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนแล้วย้ายกลับมายังสถานะพื้น ถ้าหลอดเลเซอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ จะทำให้ก๊าซนีออนที่ระดับพลังงาน $3s$ ชนกับผนัง

ของหลอดเลเซอร์มากขึ้น แก๊สนีออนจะกลับสู่สถานะพื้นได้เร็วและมากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่หลอดเลเซอร์ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก ผลอีกอย่างหนึ่งคือจะทำให้เกิดประชากรผกผันได้เร็วขึ้นและต่อเนื่อง (CW)

$$5s \rightarrow 4p \Rightarrow \lambda = 3390\text{nm}(\text{Infrared})$$

$$4s \rightarrow 3p \Rightarrow \lambda = 1150\text{nm}(\text{Infrared})$$

$$5s \rightarrow 3p \Rightarrow \lambda = 632.8\text{nm}(\text{Red})$$



รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรมระดับพลังงาน (Energy level diagram) ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เนื่องจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนให้แสงเลเซอร์เป็นแบบโหมดเดียว TEM_{00} ดังนั้นลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าจึงเป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ดังสมการ

$$E(x, y) = E_0 \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right)$$

เมื่อ x และ y คือตำแหน่งของลำแสงเลเซอร์ในแต่ละแนวแกน w คือความกว้างของลำแสงในทิศการเคลื่อนที่ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{2z}{r} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ r คือรัศมีความโค้งของกระจกที่ใช้เป็นเลเซอร์ควิตี้ w_0 คือความกว้างของลำแสงเลเซอร์ที่ตำแหน่ง $z = 0$ หรือเรียกว่าเวสต์ (Waist) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลำแสงเลเซอร์มีความกว้างน้อยที่สุด

2.5 เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริก

เปียโซอิเล็กทริก เป็นสารพวกผลึกกลุ่มที่ไม่สมมาตรกัน ซึ่งผลึกเปียโซอิเล็กทริกที่นิยมใช้กัน คือ ผลึกควอตซ์ (Single Crystal Quartz) ผลึกดังกล่าวนี้เมื่อถูกกระทำด้วยแรงหรือความดันเป็นห้วง ๆ จะปล่อยแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา ตามความสัมพันธ์ดังสมการ

$$E = DF/C$$

เมื่อ E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา

F = แรงที่กระทำ

D = ค่าคงที่ความเครียดของเป็ยโซอิเล็กทริก

C = Capacitance ของ Piezoelectric

จากสมการจะได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำกับเป็ยโซอิเล็กทริก

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้เป็ยโซอิเล็กทริกมีคุณสมบัติที่มีประโยชน์คือสามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ดังรูป (a) คือ เมื่อมีแรงหรือความดันเป็นห้วง ๆ มากระทำต่อแผ่นเป็ยโซอิเล็กทริก เป็ยโซอิเล็กทริกจะสามารถผลิตความต่างศักย์ระหว่างพื้นผิวของตัวมันได้ ในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ คือเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมลงบนพื้นผิวของเป็ยโซอิเล็กทริก มันจะมีผลทำให้สถานะภาพที่เป็นของแข็งเกิดการสั้นสะเทือน ดังรูป (b)



รูปที่ 2.11 แสดงปรากฏการณ์ Piezoelectricity

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น ในโครงงานนี้จะใช้ของเป็ยโซอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เมื่อมีแรงมากระทำต่อแผ่นเป็ยโซอิเล็กทริก เป็ยโซอิเล็กทริกจะสามารถผลิตความต่างศักย์ระหว่างพื้นผิวของตัวมันได้ โดยที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจการนับคะแนนของเป้าเมื่อเป้าถูกยิง

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทที่ 3 นี้จะอธิบายรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัย ทั้งในส่วนของการทดลอง การประมวลผล และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

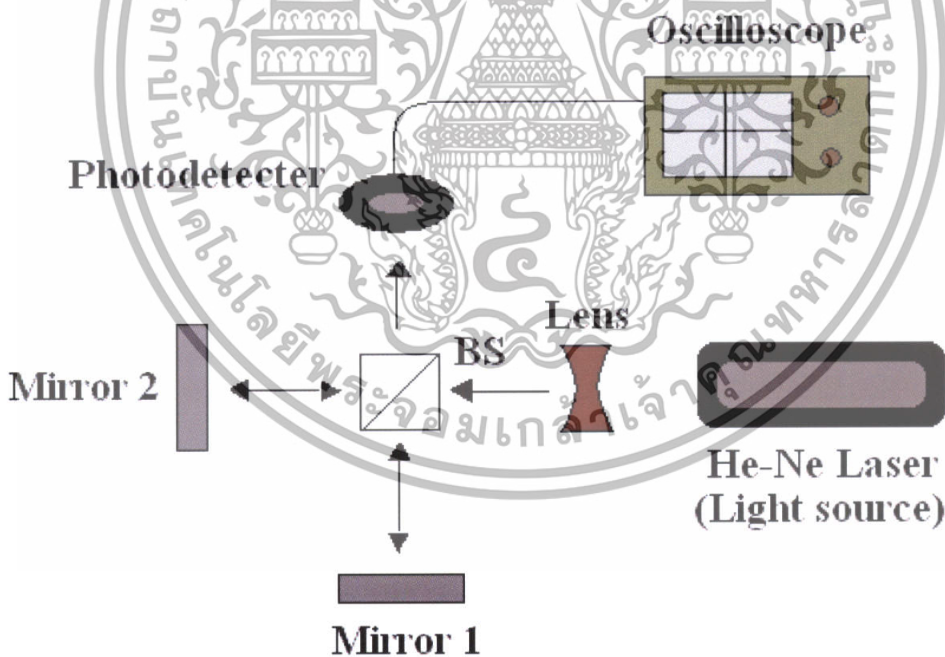
3.1 การดำเนินการทดลองอ้างอิงตามทฤษฎี

3.1.1 ไมเคลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ (Michelson interferometer)

ไมเคลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์เป็นการทดลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเป็นเครื่องมือในการวัดอย่างละเอียด ได้โดยอาศัยหลักการแทรกสอดชนิดแบ่งแอมพลิจูด (Amplitude division interferometry) ของแสงอาพันธ์จากแหล่งกำเนิดแสง การแทรกสอดชนิดแบ่งแอมพลิจูด จะแยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงออกเป็น 2 ส่วน แล้วให้แต่ละส่วนเดินทางไปเป็นระยะทางต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อผลต่างทางเดินของแสงทั้งสอง จากนั้นจะจัดให้แสงทั้งสองกลับมารวมกัน และแทรกสอดกันเกิดเป็นริ้วของการแทรกสอด จากรี้วการแทรกสอดที่ได้สามารถนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างทางเดินของแสง (หรือความเข้มแสง) กับปริมาณต่างๆในระบบตรวจวัดได้ ระบบไมเคลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ที่ใช้กัน โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ ซึ่งเป็นเลเซอร์ที่มีความเข้มสูง แต่ลำแสงที่ได้นั้นมีขนาดเล็กเกินไป จึงใช้เลนส์ในการขยายลำเลเซอร์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เลนส์วัตถุกำลังขยาย 4X ส่วน Beam Splitter นั้น ทำหน้าที่ในการแยกลำเลเซอร์ออกเป็น 2 ทาง โดยมีความเข้มเท่าๆกัน นอกจากที่จะทำหน้าที่แยกลำเลเซอร์แล้ว ยังเป็นตัวกลางของลำแสงที่สะท้อนกลับมาจากกระจกทั้งสองบาน ในการเกิดการแทรกสอดขึ้นอีกด้วย โดยกระจกที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นกระจกที่ฉาบด้านหน้าทั้งสองบาน เพื่อป้องกันการสะท้อนและการหักเหภายในบานกระจก ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทดลองขึ้นได้ ลำเลเซอร์ที่เกิดการแทรกสอดนั้น ในตอนแรกจะทำการวัดผลจากแสงที่ตกลงบนฉาก เพื่อทดสอบระบบก่อน ส่วนไมเคลสันที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะแสดงดังรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าไมเคลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเติมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางส่วนได้แก่ โฟโตดีเทคเตอร์ ออสซิลโลสโคป เปียโซอิเล็กทริก เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยให้การวัดโดยใช้ไมเคลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์มีประสิทธิภาพและถูกต้องมากขึ้น

3.1.2 หลักการ

จากรูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ที่ใช้คือ เลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ให้แสงโหมคเดียวชนิดโพลาไรซ์เชิงเส้น เมื่อฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวแยกลำแสง (Beam Splitter :BS) เป็นแท่งแก้วที่มีคุณสมบัติให้แสงสะท้อนและทะลุผ่านได้ 50% แสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยมีแอมพลิจูดเท่ากัน ลำแสงส่วนที่ 1 จะสะท้อนกับ BS แล้วเดินทางไปตามเส้นทาง L_1 จากนั้นจะสะท้อนกับกระจก M1 แล้วเดินทางกลับมายัง BS ทะลุผ่านไปยังโฟโตดีเทคเตอร์ ลำแสงส่วนที่ 2 จะทะลุผ่าน BS แล้วเดินทางไปตามเส้นทาง L_2 จากนั้นจะสะท้อนกับกระจก M2 เดินทางกลับมายัง BS แสงจะสะท้อนกับ BS แล้วเดินทางไปยังโฟโตดีเทคเตอร์ แสงทั้งสองที่เดินทางมายังโฟโตดีเทคเตอร์จะเกิดการแทรกสอดกัน สัญญาณการแทรกสอดของแสงทั้งสองที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์ก็จะปรากฏที่ออสซิลโลสโคป แต่ถ้านำฉากมารับภาพของการแทรกสอดแทนโฟโตดีเทคเตอร์ ภาพที่ปรากฏบนฉากจะเห็นริ้วของการแทรกสอดเป็นวงมืด-วงสว่างสลับกัน



รูปที่ 3.1 ไลอะแกรมการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน (Michelson's Interferometer)



(b)

รูปที่ 3.2 (a) และ (b) แสดงระบบการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ฟิวเจอร์ในงานวิจัย เมื่อใช้ฉากรับภาพ

เมื่อเลื่อนกระจก M1 เข้าหรือออกด้วยระยะทางน้อยๆ เช่นในระดับไมครอน จะทำให้ยากต่อการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัด ดังนั้น การแก้ปัญหาดังกล่าวคือ ทำให้กระจก M2 สั่นในแนวเดียวกับลำแสงที่มาตกกระทบ โดยการติดกระจก M2 เข้ากับเปียโซอิเล็กทริกซึ่งถูกทำให้สั่น จะทำให้สัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์ที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคปมีลักษณะคล้ายสัญญาณ AC (แรงดันเปลี่ยนไปตามการสั่นของเปียโซอิเล็กทริก) และการวัดสัญญาณจะวัดในลักษณะแบบยอดถึงยอด (Peak to Peak) ทำให้สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้ เมื่อเลื่อนกระจก M1 เข้าหรือออกเป็นระยะทางน้อยๆ

สรุปหลักการใช้ไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ในการตรวจวัด คือ การทำให้ระยะห่างระหว่าง BS กับกระจก M1 และ M2 (แขนของไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์) มีค่าเท่ากัน (แขนอยู่ในสมดุล) ซึ่งจะทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดมีค่าสูงสุด แต่ถ้าทำให้ระยะห่างห่างดังกล่าวไม่เท่ากัน (แขนเสียสมดุล) โดยการใส่ปริมาณที่ต้องการวัด (Physical parameters) ลงไปในแขนข้างใดข้างหนึ่งของไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ จะทำให้ระยะห่างระหว่างแขนทั้งสองข้างไม่เท่ากันหรือเกิดผลต่างทางเดินของแสงนั่นเอง การเลื่อนกระจก M1 เข้าหรือออกจะเป็นการปรับให้แขนทั้งสองกลับมาอยู่ในตำแหน่งสมดุลอีกครั้ง หรือ ตำแหน่งที่ทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดมีค่าสูงสุด การเลื่อนกระจก M1 จะทำให้ทราบระยะทางที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการใส่ปริมาณที่ต้องการวัดที่แขนของไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างทางเดินแสงกับปริมาณที่ต้องการวัดนั้น ซึ่งทั้งหมดเป็นหลักการง่ายๆ ในการใช้ไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด

3.1.3 การทดลอง

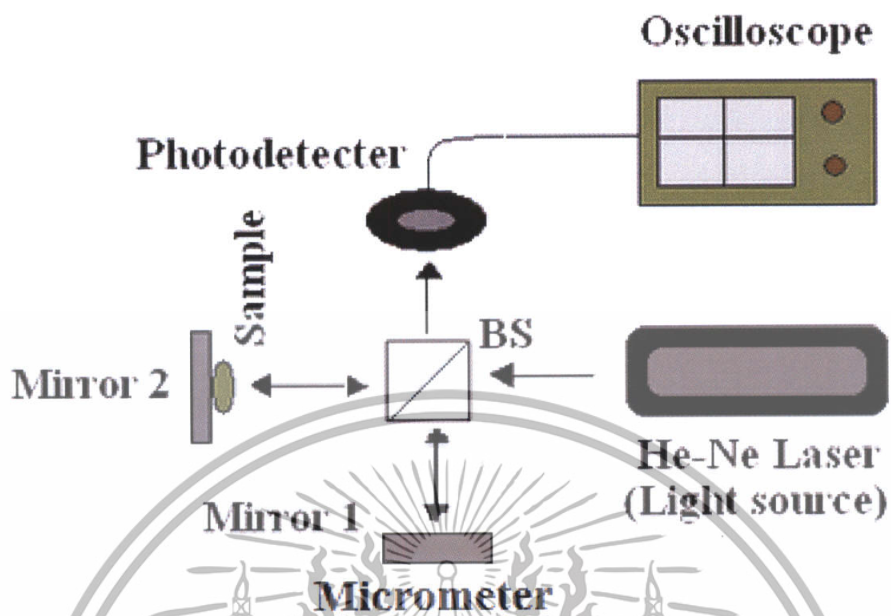
ทำการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นทำการจัดแนวและระนาบของแสงที่เดินทางในระบบไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ให้อยู่ในแนวและระนาบเดียวกัน เนื่องจากถ้าแสงไม่อยู่ในแนวและระนาบเดียวกัน จะทำให้เกิดแสงสะท้อนเป็นมุมต่างๆขึ้น ผลคือเกิดการกระจายของลำแสงทำให้ความเข้มของแสงในแต่ละลำแสงลดลง สำหรับกระจก M1 และ M2 จะปรับให้ระนาบของกระจกตั้งฉากกับลำแสงที่มาตกกระทบและตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยการปรับสกรูที่ติดอยู่ด้านหลังของอุปกรณ์ปรับระดับกระจก กระจก M1 จะติดอยู่กับไมโครมิเตอร์ซึ่งสามารถปรับให้เลื่อนเข้าหรือออกได้ตามแนวของลำแสงโดยมีระยะเลื่อนเท่ากับ 39 มิลลิเมตรและความละเอียดของการเลื่อนเท่ากับ 10 ไมครอน ส่วนการจัดระยะห่างระหว่าง BS กับกระจก M1 และ M2 (ระยะ L1 และ L2) ควรให้มีระยะห่างใกล้เคียงกันเพื่อให้ง่ายต่อการหาค่าตำแหน่งที่ทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดหรือสัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์มีค่าสูงสุด เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว ทำการวัดความเข้มแสงที่เกิดจากการแทรกสอดโดยใช้โฟโตดีเทคเตอร์ จากนั้นลองเลื่อน

ไมโครมิเตอร์เข้าหรือออกเพื่อทำให้กระจก M1 เคลื่อนที่แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคป จากนั้นทำการหาตำแหน่งของกระจก M1 ที่ทำให้สัญญาณที่วัดได้มีค่ามากที่สุดซึ่งที่ตำแหน่งนี้คือ ตำแหน่งที่ระยะ $L_1=L_2$ หรือเป็นตำแหน่งที่ผลต่างทางเดินของแสงที่เดินทางตามเส้นทาง L_1 และ L_2 มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดมีค่าสูงสุด จากนั้นทำการปรับสกรูที่ติดอยู่ด้านหลังอุปกรณ์ปรับระดับกระจกเพื่อปรับแนวของลำแสงให้อยู่ในแนวเดียวกันมากขึ้น ซึ่งการปรับสกรูนี้จะมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่วัดได้ ปรับจนกระทั่งได้ตำแหน่งที่ทำให้สัญญาณที่วัดได้มีค่าสูงสุดแล้วทำการปรับกระจกอีกข้างในลักษณะเดียวกัน จากนั้นลองเลื่อนไมโครมิเตอร์เพื่อเลื่อนกระจก M1 อีกครั้งจนได้ตำแหน่งที่ทำให้สัญญาณมีค่าสูงสุดทำสลับกันไปมาระหว่างการปรับกระจก M1 และ M2 กับ การเลื่อนไมโครมิเตอร์ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ตำแหน่งที่ทำให้สัญญาณที่วัดได้มีค่าสูงสุดจริงๆ ซึ่งตำแหน่งนี้คือ ตำแหน่งที่ผลต่างทางเดินของแสงที่เดินทางตามเส้นทาง L_1 และ L_2 มีค่าเท่ากับศูนย์จริงๆ บันทึกตำแหน่งดังกล่าวไว้โดยดูจากสเกลของไมโครมิเตอร์ ซึ่งขั้นตอนนี้ถือว่าการจัดเครื่องมือที่สมบูรณ์แล้ว ลักษณะของสัญญาณที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคปจะไม่มีมอดูเลชัน

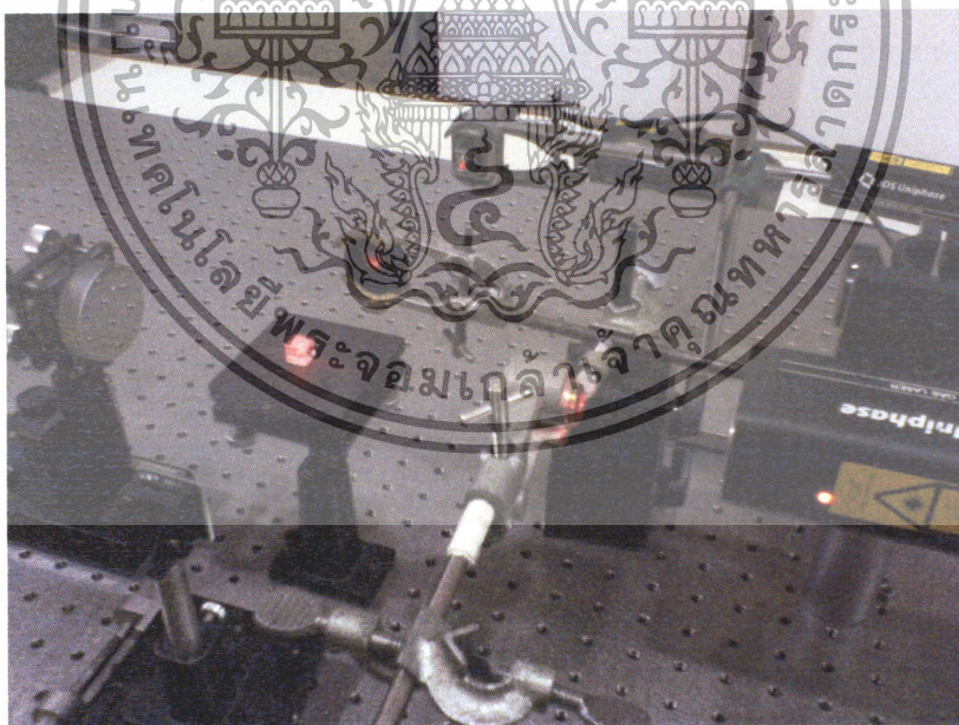
เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือจนกระทั่งได้สัญญาณของการแทรกสอดมีค่าสูงสุดแล้ว เลื่อนไมโครมิเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ทำให้กระจก M1 อยู่ใกล้กับ BS มากที่สุด ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ 11 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งนี้สัญญาณของการแทรกสอดจะมีค่าน้อย ทำการบันทึกค่าความเข้มแสงที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคปที่ตำแหน่งดังกล่าว โดยการเลื่อนไมโครมิเตอร์ออกทีละ 1 มิลลิเมตรแล้วบันทึกค่าความเข้มแสง กระทำจนกระทั่งไมโครมิเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งที่ทำให้กระจก M1 อยู่ไกลจาก BS มากที่สุด ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ 40 มิลลิเมตร (ตำแหน่งที่ 11 ถึง 40 คือระยะสแกนของไมโครมิเตอร์) จากนั้นทำการทดลองทั้งหมดอีก 2 ครั้ง นำข้อมูลที่บันทึกไว้ซึ่งก็คือความเข้มแสงทั้ง 3 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับตำแหน่งไมโครมิเตอร์

3.2 การตรวจวัดพื้นผิวของวัตถุตัวอย่างโดยใช้ไมโครมิเตอร์

งานวิจัยส่วนนี้เป็นการนำไมเคลสตันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ไปใช้งานด้านการตรวจวัดพื้นผิวโดยใช้วัดพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง คือ เหริยญโลหะ (100 เยน) ดังรูปที่ 3.5 (a) และ (b) ซึ่งการวัดพื้นผิวดังกล่าวถูกวัดโดยใช้การใช้ไมโครมิเตอร์ ระบบไมเคลสตันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดพื้นผิว ดังแสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



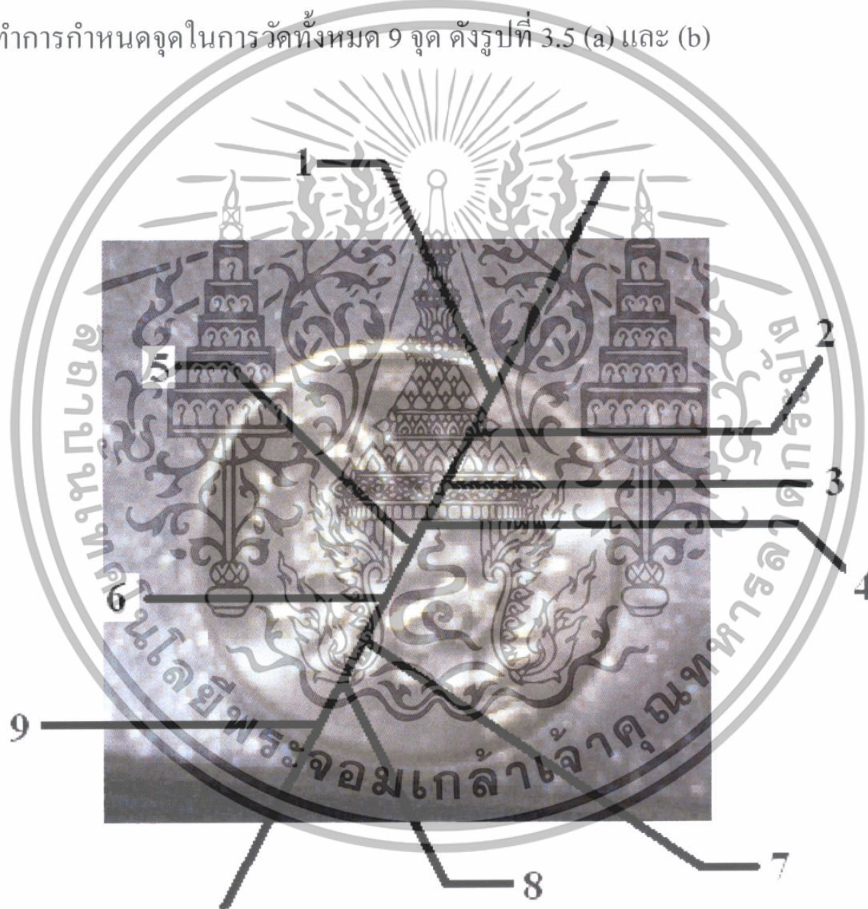
รูปที่ 3.3 โค้ดระบบที่ใช้ในการทดลองการวัดพื้นผิวแบบเลื่อนไมโครมิเตอร์



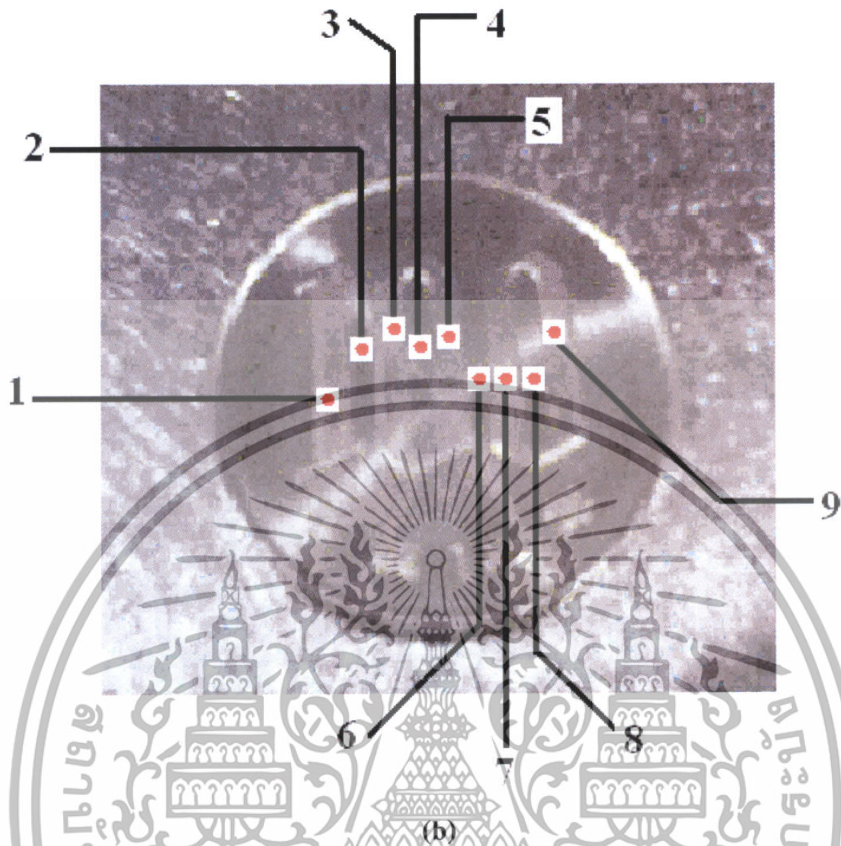
รูปที่ 3.4 แสดงระบบการทดลองไมโครสแตนด์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ในงานวิจัย เมื่อใช้โฟโต้ดีเทคเตอร์

3.2.1 หลักการ

พิจารณาจากแสงที่เดินทางในเส้นทาง M1 เมื่อแสงเดินทางถึงวัสดุทดสอบ (Sensing element) แสงส่วนหนึ่งจะตกกระทบที่ผิวหน้าของวัสดุแล้วจะสะท้อนกลับเพียงเล็กน้อย (เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นวัสดุทึบแสง มีความมันวาวน้อยทำให้การสะท้อนมีประสิทธิภาพต่ำ) โดยแสงที่เดินทางมายังโฟโตรีเซปเตอร์จะเป็นลำแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุตัวอย่างซึ่งแสงที่ได้จากการสะท้อนนั้นจะเป็นลำแสงส่วนน้อย จากวัตถุตัวอย่างจะทำการกำหนดจุดพิกัดในการวัด แล้วทำการเลื่อนกระจกไมโครมิเตอร์เข้าหรือออกเพื่อหาจุดสูงสุดของแสงที่สะท้อนจากจุดที่เราต้องการจะวัด โดยจะทำการกำหนดจุดในการวัดทั้งหมด 9 จุด ดังรูปที่ 3.5 (a) และ (b)



(a)



รูปที่ 3.5 (a) และ (b) แสดงเหรียญโลหะ 100 บาทและตำแหน่งวัดในงานวิจัย

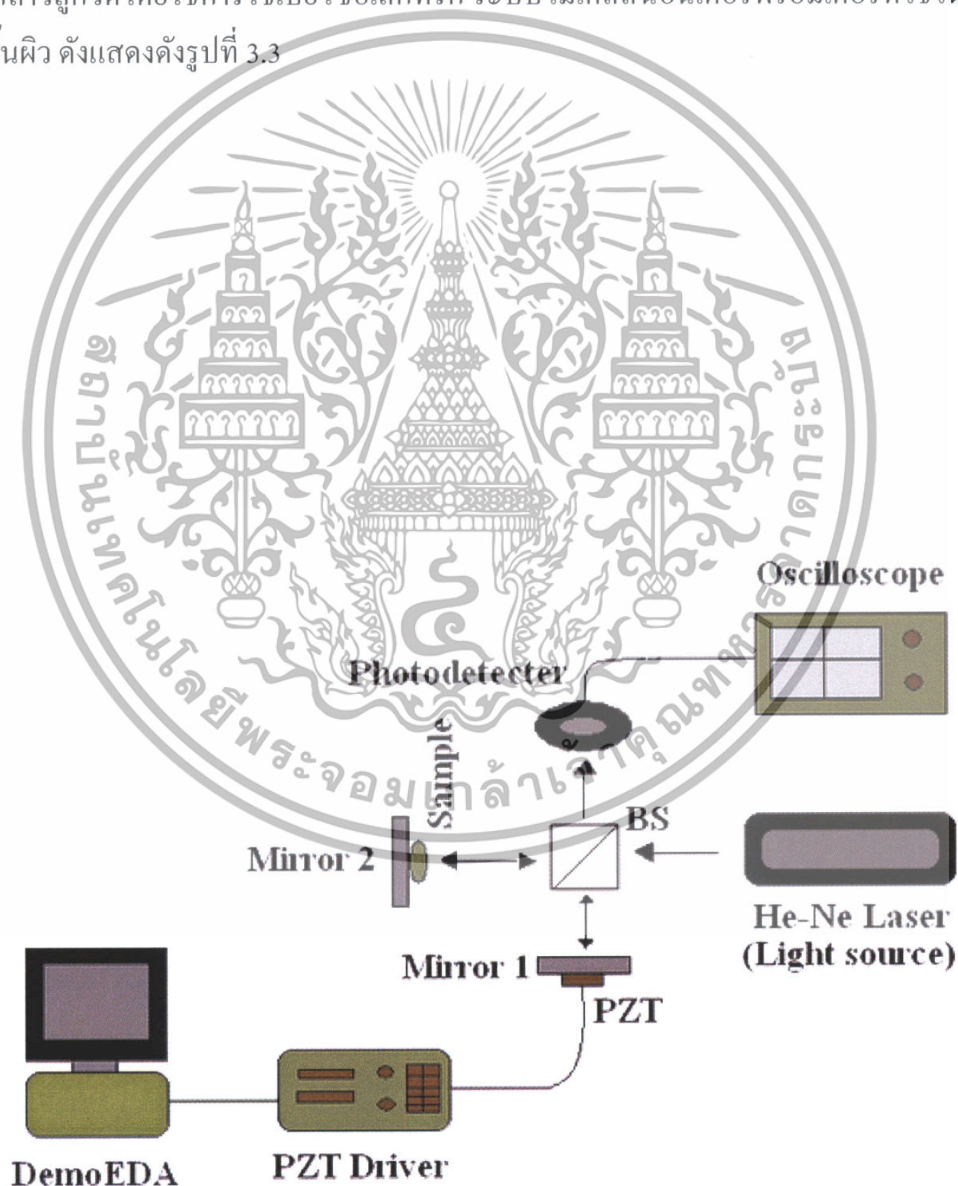
3.2.2 การทดลอง

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 3.3 จากรูปจะเห็นว่ากระจก Mirror 2 จะถูกแทนที่ด้วยวัสดุทดสอบ (วัสดุที่ต้องการหาพื้นผิว) และไมโครมิเตอร์จะติดอยู่กับฐานของกระจก Mirror 1 สามารถปรับให้เลื่อนเข้าหรือออกได้ตามแนวของลำแสง หลังจากติดตั้งอุปกรณ์เสร็จทำการจัดแนวและระนาบของแสงที่เดินทางในระบบไมโครสโคปอินเตอร์เฟอริเตอร์ให้อยู่ในแนวระดับเดียวกัน กระจก Mirror 1 จะปรับให้ระนาบของกระจกตั้งฉากกับลำแสงที่มาจากกระทบ ส่วนวัสดุทดสอบจะจัดให้ระนาบของผิวด้านหน้าตั้งฉากกับแสงที่มาจากกระทบและตั้งฉากกับกระจก Mirror 1 โดยในการวางวัสดุทดสอบจะทำการกำหนดจุดในการวัดไว้ทั้ง 9 จุด จะทำการวัดที่ละตำแหน่ง ในการจัดระยะห่างระหว่าง BS กับกระจก Mirror 1 และผิวด้านหน้าของวัสดุทดสอบควรมีระยะห่างใกล้เคียงกัน เพื่อให้ง่ายต่อการหาตำแหน่งที่ทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการสะท้อนหรือสัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์มีค่าสูงสุด เมื่อทำการติดตั้งและเซตอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว ทำการวัดวัสดุทดสอบในตำแหน่งแรกโดยการเลื่อนไมโครมิเตอร์เข้าหรือออกโดยดูจากสัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์มีขนาดสูงสุด ทำการบันทึกค่าที่ตำแหน่งนั้นทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อดูความแตกต่างค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกันเป็นจำนวน 9 จุด เพื่อเปรียบเทียบ

พื้นผิวของวัสดุในแต่ละจุดที่ผิวไม่เรียบ และเป็นวัสดุโลหะที่มีความมันวาวซึ่งมีการสะท้อนแสงเพียงเล็กน้อย

3.3 การตรวจวัดพื้นผิวของวัสดุตัวอย่างโดยใช้เปียโซอิเล็กทริก

งานวิจัยส่วนนี้เป็นการนำไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ไปใช้งานด้านการตรวจวัดพื้นผิวโดยใช้วัดพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง คือ เหริยญโลหะ 100 เชน ดังรูปที่ 3.5 (a) และ (b) ซึ่งการวัดพื้นผิวดังกล่าวถูกวัดโดยใช้การใ้เปียโซอิเล็กทริก ระบบไมเคลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดพื้นผิว ดังแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.6 โค้ดะแกรมระบบที่ใช้ในการทดลองการวัดพื้นผิวแบบใช้เปียโซอิเล็กทริก

3.3.1 หลักการ

พิจารณาจากแสงที่เดินทางในเส้นทาง M1 เมื่อแสงเดินทางถึงวัสดุทดสอบ (Sensing element) แสงส่วนหนึ่งจะตกกระทบที่ผิวหน้าของวัสดุแล้วจะสะท้อนกลับเพียงเล็กน้อย (เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นวัสดุทึบแสง มีความมันวาวน้อยทำให้การสะท้อนมีประสิทธิภาพต่ำ) โดยแสงที่เดินทางมายังโฟโตดีเทคเตอร์จะเป็นลำแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุตัวอย่างซึ่งแสงที่ได้จากการสะท้อนนั้นจะเป็นลำแสงส่วนน้อย จากวัตถุตัวอย่างจะทำการกำหนดจุดในการวัดแล้วทำการใช้เปียโซอิเล็กทริกในการเคลื่อนที่เพื่อประมวลผลในระดับนาโนเพื่อหาจุดสูงสุดของแสงที่สะท้อนจากจุดที่เราต้องการจะวัด โดยจะทำการกำหนดจุดในการวัดทั้งหมด 9 จุดดังรูปที่ 3.5 (a) และ (b)

3.3.2 การทดลอง

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 3.3 จากรูปจะเห็นว่ากระจก Mirror 2 จะถูกแทนที่ด้วยวัสดุทดสอบ (วัสดุที่ต้องการหาพื้นผิว) และ เปียโซอิเล็กทริกจะติดอยู่ทางด้านหลังของกระจก Mirror 1 ซึ่งในการใช้เปียโซอิเล็กทริกนั้นจะต้องมีไดรฟ์เวอร์ (ตัวขับ) ให้เปียโซอิเล็กทริกทำงานซึ่งจะใช้ร่วมกับโปรแกรมในการขับ คือ โปรแกรม Demo EDA ซึ่งทำการโดยป้อนแรงดันเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเปียโซอิเล็กทริก (ทำให้เปียโซอิเล็กทริกสั้นเพื่อขับแกนคล้ายการเลื่อน ไมโครมิเตอร์แต่เปียโซอิเล็กทริกจะขับเลื่อนในระดับนาโนสเกล) โดยรายละเอียดของโปรแกรมควบคุมตัวขับเปียโซอิเล็กทริกนั้นมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก หลังจากติดตั้งอุปกรณ์เสร็จทำการจัดแนวและระนาบของแสงที่เดินทางในระบบไมโครสแตนอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ให้อยู่ในแนวระดับเดียวกัน กระจก Mirror 1 จะปรับให้ระนาบของกระจกตั้งฉากกับลำแสงที่มาตกกระทบ ส่วนวัสดุทดสอบจะจัดให้ระนาบของผิวด้านหน้าตั้งฉากกับแสงที่มาตกกระทบและตั้งฉากกับกระจก Mirror 1 โดยในการวางวัสดุทดสอบจะทำการกำหนดจุดในการวัดไว้ทั้ง 9 จุด จะทำการวัดทีละตำแหน่ง ในการจัดระยะห่างระหว่าง BS กับกระจก Mirror 1 และผิวหน้าของวัสดุทดสอบควรมีระยะห่างใกล้เคียงกันเพื่อให้ง่ายต่อการหาตำแหน่งที่ทำให้ความเข้มแสงที่ได้จากการสะท้อนหรือสัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์มีค่าสูงสุด เมื่อทำการติดตั้งและเชตอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้วทำการวัดวัสดุทดสอบในตำแหน่งแรกโดยการป้อนแรงดันให้ตัวเปียโซอิเล็กทริกสั้น โดยตัวเปียโซอิเล็กทริก จะติดอยู่ทางด้านหลังของกระจก Mirror 1 การป้อนแรงดันให้กับตัวเปียโซอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับได้กับการเลื่อนสเกลของไมโครมิเตอร์ คือทำการป้อนแรงดันที่ค่า 10 โวลต์ จนถึง 100 โวลต์ และดูสัญญาณที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์ที่มีขนาดสูงสุดหลังจากที่ทำการป้อนแรงดันในแต่ละค่า สังเกตค่าที่สูงสุดจากการวัด ทำการบันทึกค่าที่ตำแหน่งนั้นทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อดูความแตกต่างค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกันเป็นจำนวน 9 จุด

เพื่อเปรียบเทียบพื้นผิวของวัสดุในแต่ละจุดที่ผิวไม่เรียบ และเป็นวัสดุโลหะที่มีความมันวาวซึ่งมีการสะท้อนแสงเพียงเล็กน้อย

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากบันทึกผลการทดลองจากการวัดพื้นผิวของวัสดุโดยใช้วิธีการวัด 2 แบบ คือ การวัดแบบใช้ไมโครมิเตอร์และการวัดแบบใช้เปียโซอิเล็กทริก ซึ่งใช้หลักการแทรกสอดแบบไมเคลสัน แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบในการหามาตรฐานในการตรวจวัดที่แม่นยำ เมื่อทำการทดลองซ้ำๆ จะได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันหรือเป็นแนวโน้มเดียวกันหรือไม่ หาข้อสรุป ข้อบกพร่อง เพื่อทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาระบบการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน

เมื่อจัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3 แล้วจะเกิดการแทรกสอดกันที่บริเวณฉากรับภาพ ซึ่งเป็นการแทรกสอดชนิดไมเคลสันตามที่ต้องการ จะเห็นริ้วมืดและสว่างสลับกันเป็นวงกลม โดยสังเกตได้ว่ามีการกระเพื่อมของแสงเล็กน้อย เนื่องจากระบบถูกรบกวนด้วยการสั่นสะเทือนของโต๊ะ หรือแรงลมจากเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสัน บนฉากรับภาพ

จากนั้นใช้โฟโตดีเทคเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณแสงที่จุดกึ่งกลางของรีวการแทรกสอด แล้วประมวลผลเป็นค่าแรงดันออกทางจ้อออสซิลโลสโคป มีลักษณะสัญญาณดังรูปที่ 4.2 หลังจากนั้นเลื่อนตำแหน่งกระจก M1 ให้อยู่ใกล้กับตัวแยกลำแสง (beam splitter) มากที่สุด ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ 11 มิลลิเมตร ทำการบันทึกค่าความเข้มแสงที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคปที่ตำแหน่งดังกล่าว แล้วเลื่อนไมโครมิเตอร์ที่ตำแหน่งกระจก M1 ออกเป็นระยะทาง 1 มิลลิเมตร แล้วบันทึกค่าความเข้มแสงที่ปรากฏยังออสซิลโลสโคปอีกครั้ง ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งไมโครมิเตอร์ที่ตำแหน่งกระจก

M1 อยู่ห่างจากตัวแยกลำแสง (beam splitter) ที่ตำแหน่ง 40 mm จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและตำแหน่งของไมโครมิเตอร์ ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ผลการแทรกสอดของแสงชนิดไมเคลสันบนจอออกซิลโคป

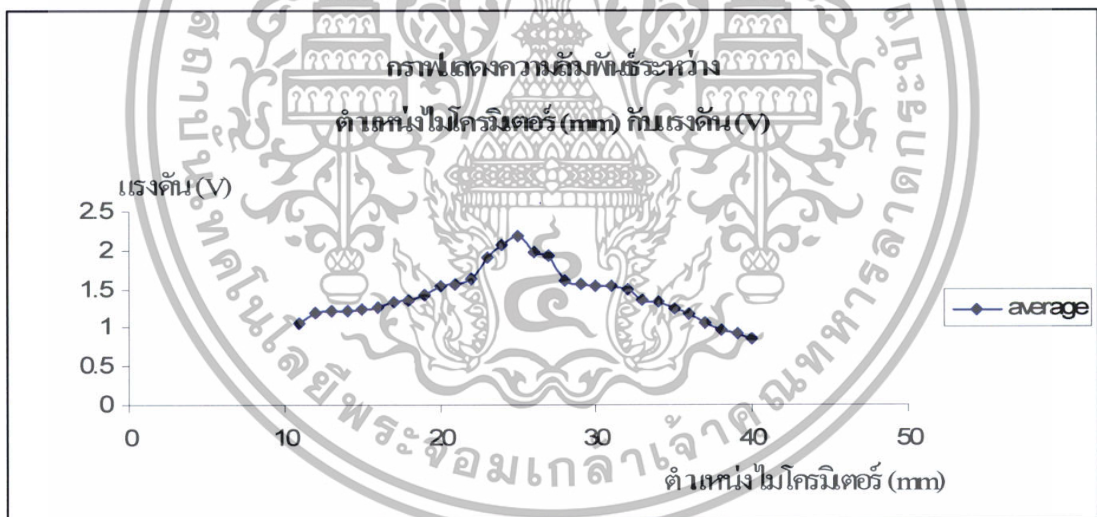
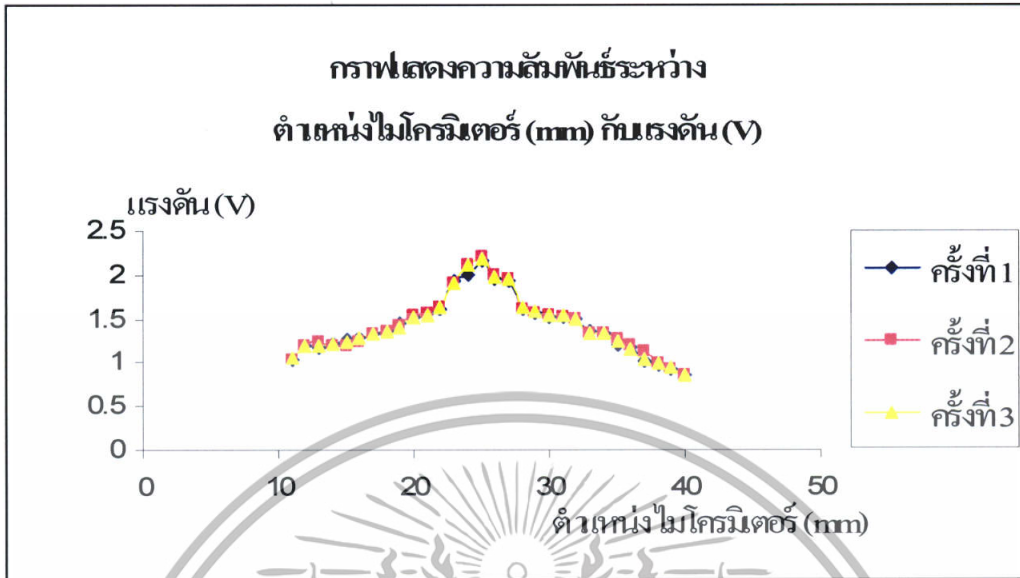
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่เกิดจากการแทรกสอด ณ ตำแหน่งต่างๆของไมโครมิเตอร์

ตำแหน่งไมโครมิเตอร์ (mm)	แรงดัน (Volt)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
11	1.04	1.04	1.06	1.047
12	1.2	1.2	1.2	1.2
13	1.18	1.24	1.2	1.207
14	1.22	1.2	1.22	1.213
15	1.26	1.2	1.24	1.233
16	1.28	1.24	1.28	1.267
17	1.34	1.32	1.34	1.333
18	1.36	1.36	1.36	1.36
19	1.44	1.42	1.4	1.42

ตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงค่าแรงดันที่เกิดจากการแทรกสอด ณ ตำแหน่งต่างๆของไมโครมิเตอร์

ตำแหน่งไมโครมิเตอร์ (mm)	แรงดัน (Volt)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
20	1.52	1.54	1.52	1.527
21	1.56	1.56	1.54	1.553
22	1.6	1.62	1.62	1.633
23	1.92	1.9	1.9	1.907
24	2	2.1	2.12	2.073
25	2.16	2.2	2.18	2.18
26	1.96	2	1.98	1.98
27	1.92	1.94	1.94	1.933
28	1.6	1.6	1.62	1.607
29	1.56	1.56	1.58	1.567
30	1.52	1.54	1.54	1.53
31	1.52	1.52	1.54	1.527
32	1.48	1.48	1.48	1.48
33	1.36	1.34	1.34	1.347
34	1.32	1.34	1.32	1.327
35	1.2	1.26	1.24	1.23
36	1.16	1.2	1.14	1.167
37	1	1.12	1.04	1.053
38	0.96	0.98	0.98	0.973
39	0.92	0.92	0.94	0.927
40	0.84	0.86	0.84	0.847

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง Micrometer Position (mm) กับ แรงดัน (โวลต์) จะพบว่า กราฟเป็นทรงระฆังคว่ำดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งไมโครมิเตอร์ (mm) กับแรงดัน (V) โดย (a) แสดงค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, (b) แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเหรียญ 100 เยน โดยใช้ไมโครมิเตอร์และเปียโซอิเล็กทริก

หลังจากการศึกษาการแทรกสอดชนิดไมเคลสันแล้ว ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเหรียญโลหะ ซึ่งผู้ศึกษาได้ใช้เหรียญ 100 เยนในงานวิจัยเนื่องจากลักษณะของเหรียญมีความแตกต่างของพื้นผิวค่อนข้างชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษา เมื่อจัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.3 และ 3.6 เพื่อทำการศึกษาโดยใช้ไมโครมิเตอร์และเปียโซอิเล็กทริก ตามลำดับและกำหนดจุดพิกัดในการวัดดังรูปที่ 4.4 และ 4.7 โดยแต่ละจุดจะห่างกัน 3 มิลลิเมตร แล้ว จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตอนที่ 1 ทำการศึกษาด้านหน้าเหรียญ ดังรูปที่ 4.4

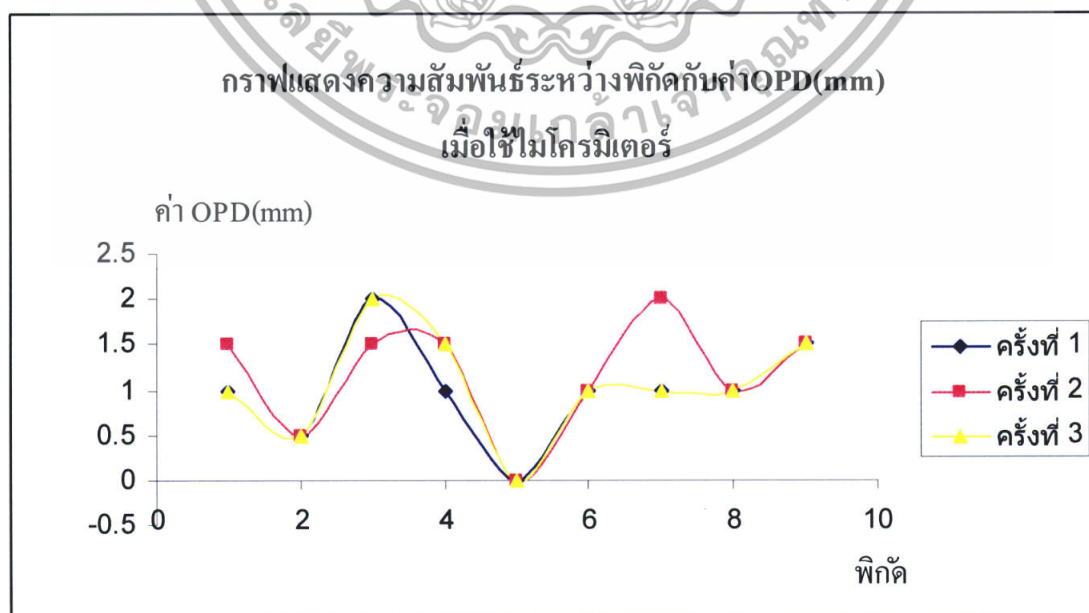


รูปที่ 4.4 แสดงจุดพิกัดในการศึกษาด้านหน้าเหรียญ

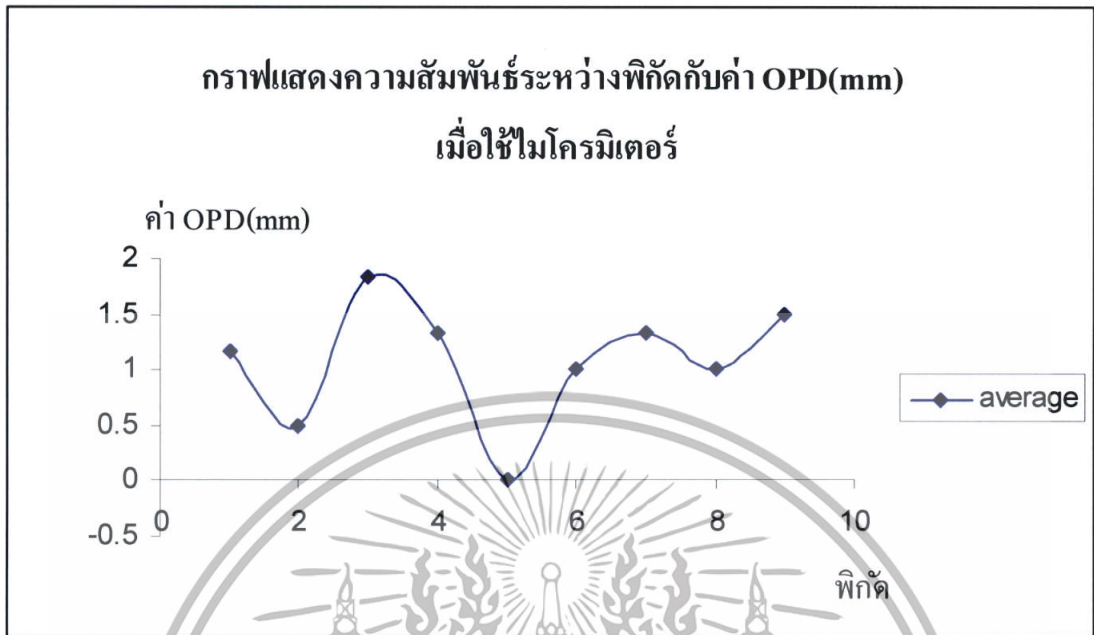
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหน้าเหรียญ โดยใช้ไมโครมิเตอร์
ความละเอียดของไมโครมิเตอร์ = 10 μm

พิกัด	OPD (mm)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	1.00	1.50	1.0	1.167
2	0.50	0.50	0.5	0.500
3	2.00	1.50	2.0	1.833
4	1.00	1.50	1.5	1.333
5*	0.00	0.00	0.0	0.000
6	1.00	1.00	1.0	1.000
7	1.00	2.00	1.0	1.333
8	1.00	1.00	1.0	1.000
9	1.50	1.50	1.5	1.500

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD จะได้
กราฟดังรูปที่ 4.5



(a)



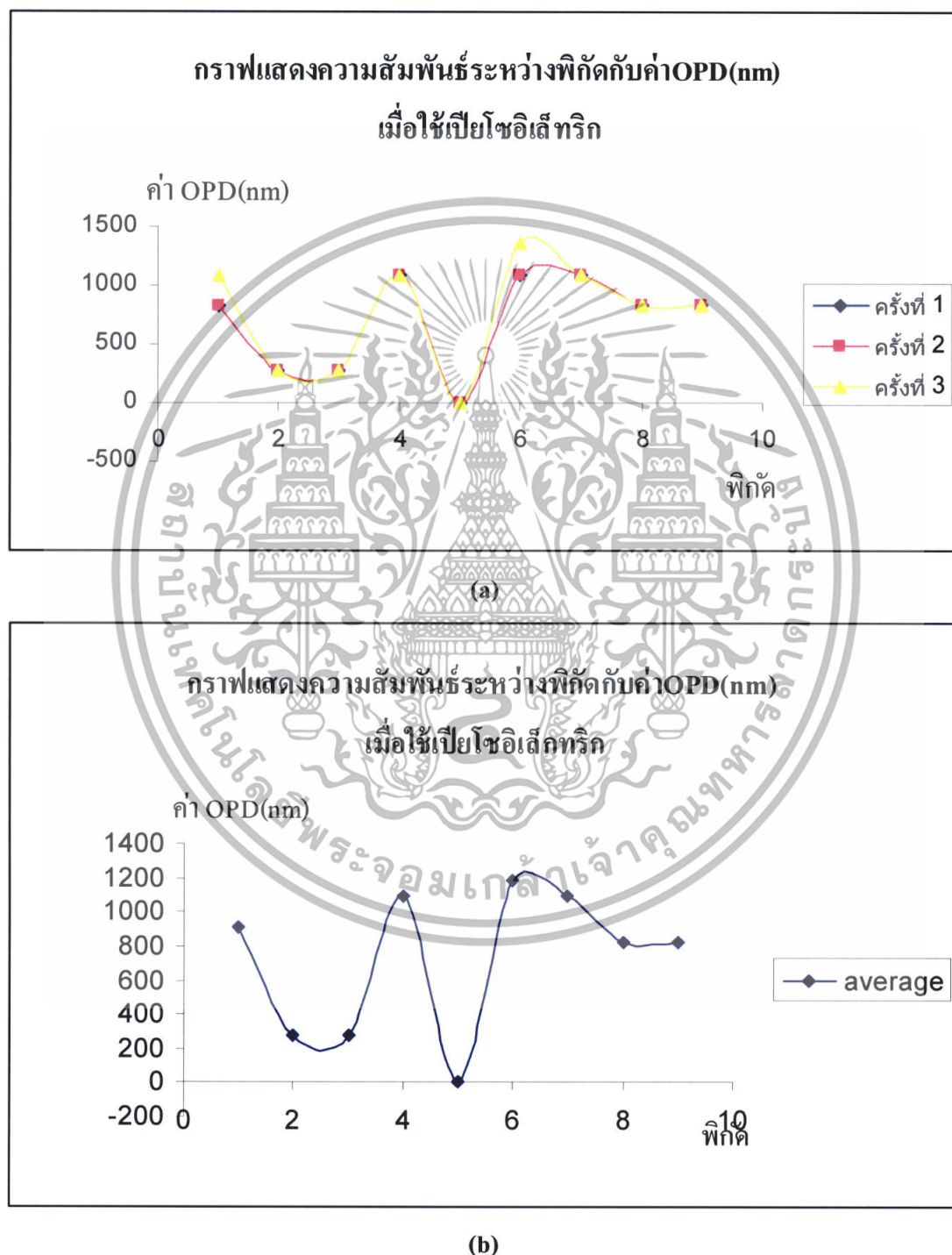
(b)

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหน้าเหรียญ เมื่อใช้ไมโครมิเตอร์ โดย (a) แสดงค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, (b) แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหน้าเหรียญ โดยใช้เปียโซอิเล็กทริก ความละเอียดของเปียโซอิเล็กทริก = $2.73 \mu\text{m} / 1 \text{ Volt}$

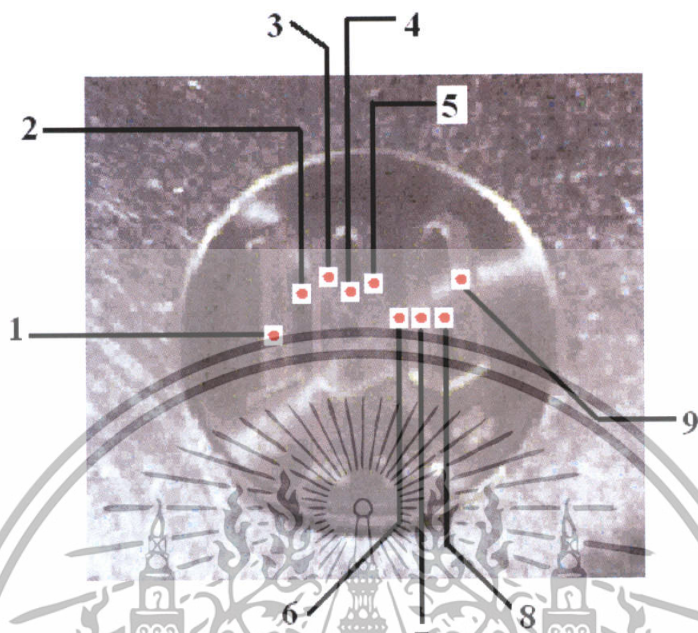
พิกัด	OPD (nm)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	819	819	1092	910
2	273	273	273	273
3	273	273	273	273
4	1092	1092	1092	1092
5*	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1092	1092	1365	1183
7	1092	1092	1092	1092
8	819	819	819	819
9	819	819	819	819

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหน้าเหรียญ เมื่อใช้เปียโซอิเล็กทริก โดย (a) แสดงค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, (b) แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตอนที่ 2 ทำการศึกษาด้านหลังเหรียญ ดังรูปที่ 4.7

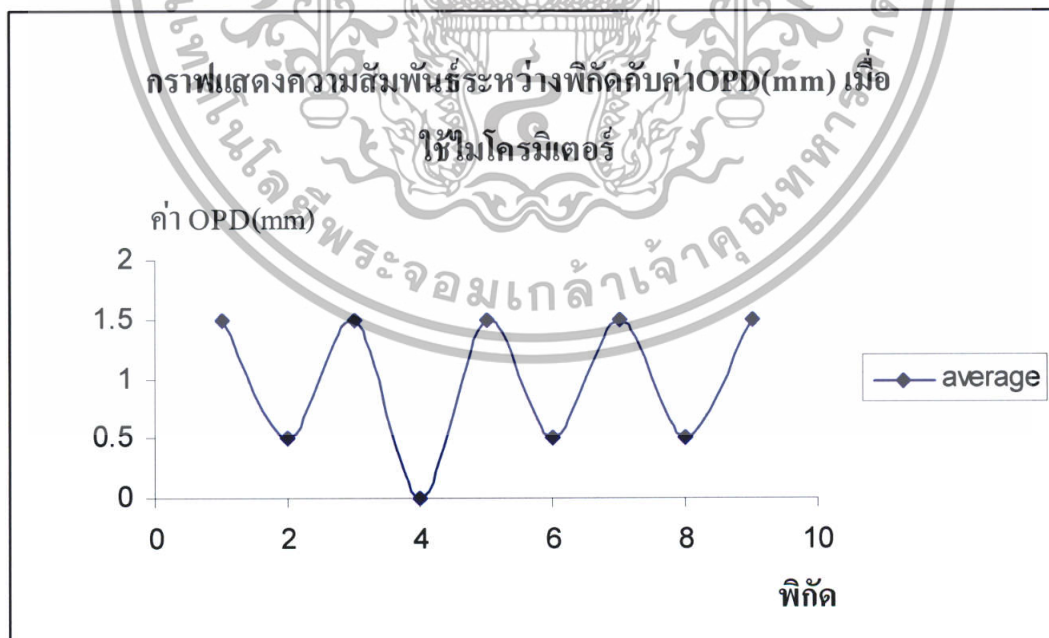


รูปที่ 4.7 แสดงจุดพิกัดในการศึกษาด้านหลังเหรียญ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเหรียญ โดยใช้ไมโครมิเตอร์
ความละเอียดของไมโครมิเตอร์ = 10 μm

พิกัด	OPD (mm)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	1.50	1.50	1.50	1.50
2	0.50	0.50	0.50	0.50
3	1.50	1.50	1.50	1.50
4*	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.50	1.50	1.50	1.50
6	0.50	0.50	0.50	0.50
7	1.50	1.50	1.50	1.50
8	0.50	0.50	0.50	0.50
9	1.50	1.50	1.50	1.50

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.4 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่าOPD จะได้กราฟดังรูปที่ 4.8



(b)

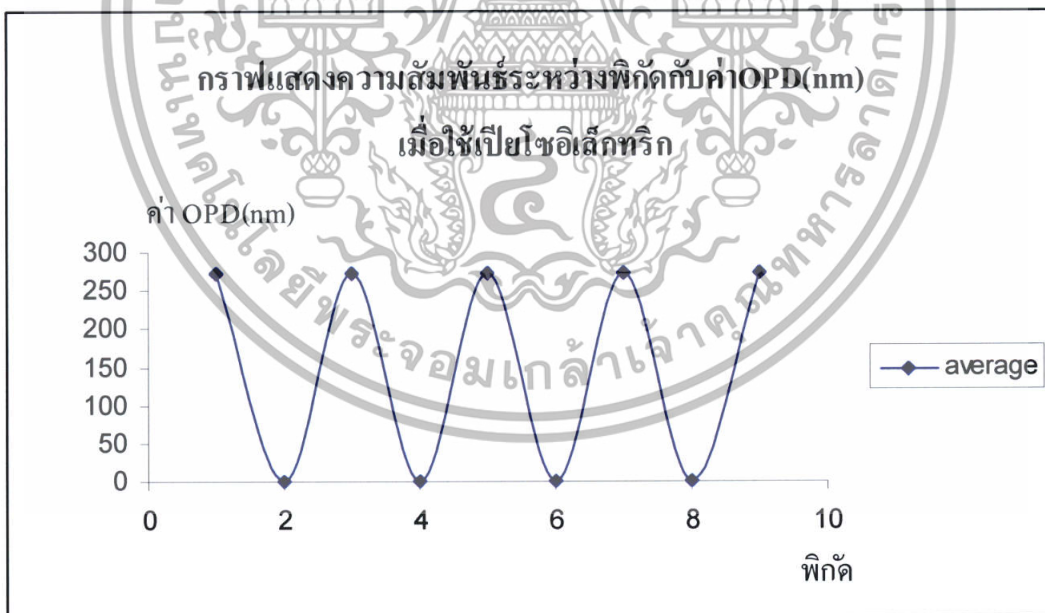
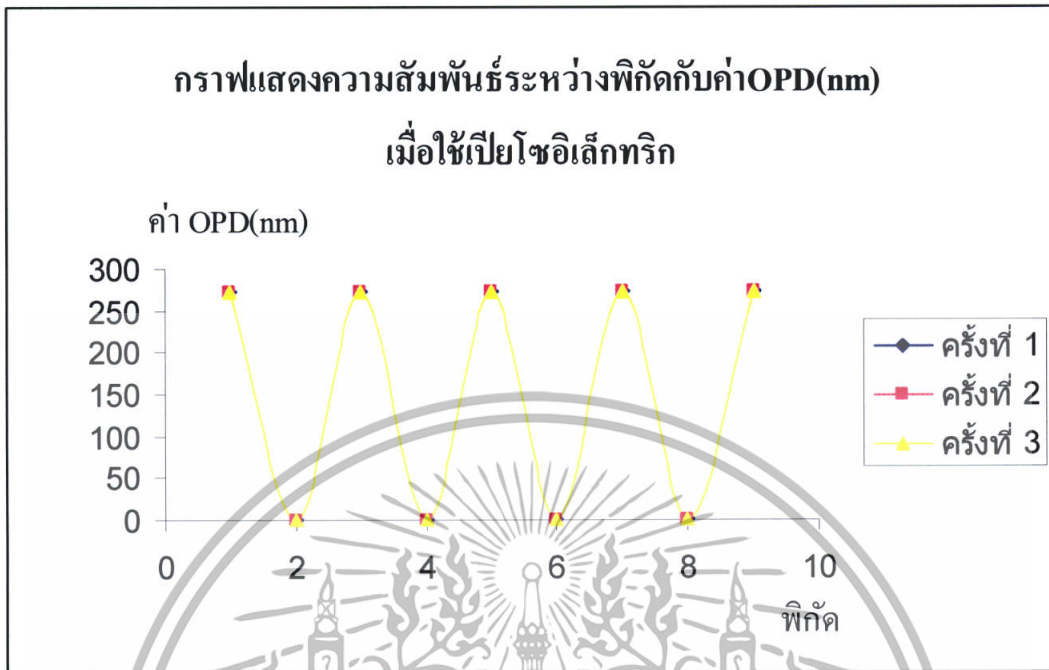
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหลังเหรียญ เมื่อใช้ไมโครมิเตอร์ โดย (a) แสดงค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, (b) แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า OPD ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้านหลังเหรียญ โดยใช้เป็ยโซอิเล็กทริก

ความละเอียดของเป็ยโซอิเล็กทริก = $2.73 \mu\text{m} / 1 \text{ Volt}$

พิกัด	OPD (nm)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	273	273	273	273
2	0	0	0	0
3	273	273	273	273
4*	0	0	0	0
5	273	273	273	273
6	0	0	0	0
7	273	273	273	273
8	0	0	0	0
9	273	273	273	273

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.5 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD จะได้กราฟดังรูปที่ 4.9



(b)

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกับค่า OPD ด้านหลังเหรียญ เมื่อใช้เปียโซอิเล็กทริก โดย (a) แสดงค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง, (b) แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ

ในงานวิจัยนี้ได้อาศัยหลักการแทรกสอดชนิดไมเคลสัน โดยใช้ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm แล้วส่งผ่านไปยังตัวแยกลำแสง (beam splitter) เพื่อแยกลำแสงออกเป็นสองทิศทางที่มีความเข้มเท่าๆกันและตั้งฉากกัน แต่ละลำแสงจะเดินทางด้วยระยะทางที่ใกล้เคียงกันไปยังกระจก จากนั้นจะเกิดการสะท้อนกลับมาที่ตัวแยกลำแสง (beam splitter) อีกครั้ง แล้วเกิดการแทรกสอดกันเป็นริ้วมืด-สว่าง ดังรูปที่ 4.1

หลักการแทรกสอดชนิดไมเคลสันสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการวัด งานวิจัยนี้ได้ใช้เหรียญ 100 เยนเป็นวัตถุที่ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิว โดยในการทดลองใช้แทนที่ตำแหน่งกระจก M2 และใช้ไมโครมิเตอร์และเป็โซอิเล็คทริกในการปรับระยะของกระจก M1 ในระดับไมครอนและนาโนสเกล ตามลำดับ ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัตถุนั้น ผู้ศึกษาได้กำหนดให้จุดหนึ่งๆมีค่า Optical Path Different หรือค่า OPD เป็นศูนย์ เพื่อเป็นจุดอ้างอิงเทียบกับจุดอื่นๆที่ทำการศึกษา พบว่าจุดที่มีความนูนมาก จะมีค่า OPD มาก และจุดที่มีความนูนต่ำ จะมีค่า OPD น้อย ดังผลการทดลองในบทที่ 4 โดยค่าที่ได้จากการใช้ไมโครมิเตอร์และเป็โซอิเล็คทริกนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่เมื่อใช้เป็โซอิเล็คทริกจะมีความละเอียดมากกว่าถึง 7.27 μm คือ ไมโครมิเตอร์มีความละเอียด 10 μm และเป็โซอิเล็คทริกมีความละเอียด 2.73 μm ดังนั้นเป็โซอิเล็คทริกจึงมีความละเอียดมากกว่าไมโครมิเตอร์ = 72.7 %

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยอาศัยหลักการแทรกสอดชนิดไมเคลสันนี้ มีความแม่นยำในการแสดงลักษณะความนูน ความลึกของพื้นผิววัตถุ แม้จะมีความแตกต่างของระดับเพียงเล็กน้อยก็ตาม รวมทั้งมีประโยชน์ในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์อย่างมาก เนื่องจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดการทดลองโดยอาศัยหลักการแทรกสอดของไมเคลสันนั้น ผู้ทดลองต้องจัดอุปกรณ์ให้อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด เพื่อให้แสงที่จะมาแทรกสอดกันอยู่ในแนวเดียวกัน จึงจะเกิดการแทรกสอดขึ้น ดังนั้น ก่อนการวางอุปกรณ์ต่างๆ ควรตรวจสอบแนวลำแสงก่อนว่าตรงหรือไม่ อาจใช้핀โฮลมาช่วยในการตรวจเช็ค
2. ระยะห่างระหว่างตัวแยกลำแสง (Beam splitter) กับกระจก M1 และ M2 นั้นต้องมีค่าเท่ากัน จะทำรีวิวกการแทรกสอดเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์
3. ระบบการแทรกสอดชนิดไมเคลสันนั้นมีความไวต่อสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง ทั้งการรบกวนจากแรงสั่นสะเทือนจากสิ่งแวดล้อม และการรบกวนจากแสงภายนอกระบบ ดังนั้นค่าที่วัดได้นั้น ก็อาจเป็นค่าที่ผิดพลาด จึงควรทำการทดลองซ้ำ เพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง และรวมทั้งควรพยายามป้องกันการรบกวนจากภายนอกด้วยเช่นกัน
4. หลักการแทรกสอดของไมเคลสันในงานวิจัยนี้เพียง เพื่อตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของเหรียญโลหะเท่านั้น ผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดกับตัวอย่างชนิดอื่นๆ หรือพัฒนาระบบขึ้นไปเพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่แม่นยำมากขึ้น หรืออาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์และจดจำลักษณะพื้นผิวของวัตถุต่างๆได้ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ในการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

<http://www.google.co.th>

<http://www.wikipedia.org>

ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ. 2544. อินเทอร์เน็ตเอร์มินิตอร์ชนิดอาพันธ์สำหรับการประยุกต์ด้าน
อุปกรณ์ตรวจวัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
ฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

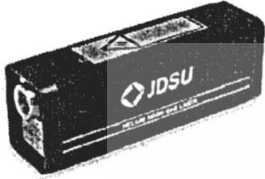




ภาคผนวก

Self-Contained Helium-Neon Laser Systems

1500 Series



Key Features

- Hard-sealed internal mirror plasma tube
- Convenient, compact, self-contained packages
- Excellent power stability
- CDRH compliant
- Long operating life

Applications

- Alignment
- Metrology
- Inspection

Compliance

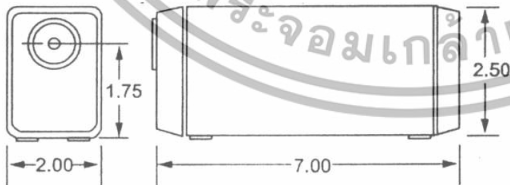
- CDRH
- UL
- CE

The Model 1507 and 1508 Novette™ helium-neon laser systems incorporate hard-sealed internal-mirror 1007 and 1008 plasma tubes and power modules into convenient, compact, self-contained packages. These low-cost units demonstrate superior power stability and meet CDRH requirements.

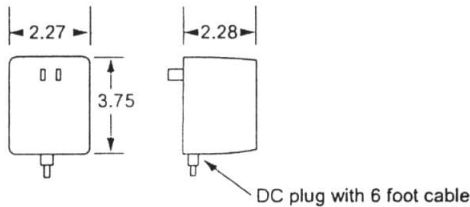
The base of the Novette is slotted for easy mounting. A threaded 5/8"-32 bezel at the beam aperture interfaces with optical accessories. An optional adapter provides a 1"-32 threaded bezel (part number 01-0396).

1500 Series Novette™ Laser Systems

(Specifications in inches unless otherwise noted.)



AC adaptor



SELF-CONTAINED HELIUM-NEON LASER SYSTEMS

2

Specifications

Parameter	1507	1507P	1508	1508P	Unit
Optical					
Minimum output power (TEM ₀₀)	0.8	0.8	0.5	0.5	mW
Wavelength	632.8	632.8	632.8	632.8	nm
Beam diameter (1/e ² points, ±3%, TEM ₀₀)	0.48	0.48	0.48	0.48	mm
Beam divergence (±3%, TEM ₀₀)	1.7	1.7	1.7	1.7	mrad
Polarization ratio (minimum)	N/A	500:1	N/A	500:1	-
Longitudinal mode spacing (nominal)	1090	1090	1090	1090	MHz
Maximum noise (rms, 30 Hz to 10 MHz)	1.0	1.0	1.0	1.0	%
Maximum drift (mean power measured over 8 hours)	±2.5	±2.5	±2.5	±2.5	%
Maximum mode sweep contribution	10	10	20	20	%
Maximum warm-up time (minutes to 95% power)	10	10	10	10	min.
CDRH class	IIa	IIa	II	II	-
Electrical					
AC adaptor operating current					
at 100 V AC	150	150	150	150	mA
at 120 V AC	150	150	150	150	mA
at 220 V AC	82	82	82	82	mA
General					
Mode purity			>95%		
Head weight			1.1 lbs.		

Input Voltage Options

For 1500 series Novette™ lasers, specify the desired AC Adaptor* input voltage by adding the appropriate dash number to the model number when ordering.

- '-1' for 120 V AC
- '-2' for 220 V AC
- '-3' for 100 V AC

All model 1507/1508 laser heads will function with each listed AC Adaptor.

* For lost or damaged AC adaptors -1, -2, or -3, simply order replacement part numbers 21056997, 21056998, or 21056997 respectively.

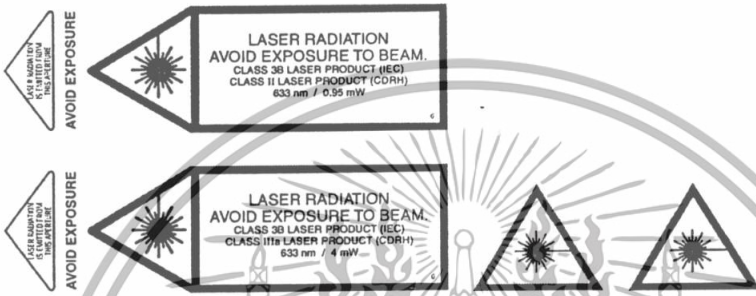
Ordering Information

For more information on this or other products and their availability, please contact your local JDSU account manager or JDSU directly at 1-800-498-JDSU (5378) in North America and +800-5378-JDSU worldwide or via e-mail at customer.service@jdsu.com.

Sample: 1508P-1

Warranty

JDSU helium-neon laser systems are warranted to be free of defects in workmanship and materials for twelve months from the date of shipment.



Regulatory Compliance

The products listed in this data sheet comply to one or more of the following regulatory standards, and may display one or more of the safety labels shown below. Contact your local JDSU sales representative for additional information on specific products or configurations.



UK and N. Ireland Distribution
 Photonic Solutions Plc
 Gracemount Business Pavilions
 40 Captains Road,
 Edinburgh, EH17 8QF, UK
 Tel: 0131 664 8122
 Fax: 0131 664 8144
 Email: sales@psplc
 Web: www.psplc.com

All statements, technical information and recommendations related to the products herein are based upon information believed to be reliable or accurate. However, the accuracy or completeness thereof is not guaranteed, and no responsibility is assumed for any inaccuracies. The user assumes all risks and liability whatsoever in connection with the use of a product or its application. JDSU reserves the right to change at any time without notice the design, specifications, function, fit or form of its products described herein, including withdrawal at any time of a product offered for sale herein. JDSU makes no representations that the products herein are free from any intellectual property claims of others. Please contact JDSU for more information. JDSU and the JDSU logo are trademarks of JDS Uniphase Corporation. Other trademarks are the property of their respective holders. ©2006 JDS Uniphase Corporation. All rights reserved. 10138846 Rev. 003 02/06 SCHNL1500.DS.CL.AE

DET210 - HIGH-SPEED SILICON DETECTOR

DESCRIPTION:

Thorlabs' DET210 is a ready-to-use high-speed photo detector. The unit comes complete with a photodiode and internal 12V bias battery enclosed in a ruggedized aluminum housing. The head includes a removable 1" optical coupler (SM1T1), providing easy mounting of ND filters, spectral filters and other Thorlabs 1" stackable lens mount accessories. Also available are fiber adapters (SMA, FC and ST style). An #8-32 tapped hole is provided on the base of the housing to mount the detector directly to a Thorlabs' positioning device (1/2" post holder, mounting plates, etc.).

SPECIFICATIONS:

Detector:	Silicon PIN	Housing:	Black Anodized Aluminum
Spectral Response:	200-1100nm	Size:	φ1.43" x 1.67"
Peak Wavelength:	730nm±50nm	Output:	BNC, DC-Coupled
Peak Response:	0.45 A/W	Bias:	12V Battery (Type A23)
Rise/Fall Time¹:	1ns	Mounting:	8-32 (M4) Tapped Hole
Diode Capacitance:	6pF	Diode Socket:	TO-5, Anode Marked
NEP:	5 x 10 ⁻¹⁴ W/√HZ	Damage Threshold:	100mW CW
Dark Current:	0.80nA @ -12V		0.5 J/cm ² (10ns pulse)
Active Area:	φ1mm (0.8mm ²)		
Linearity Limit:	1mW		

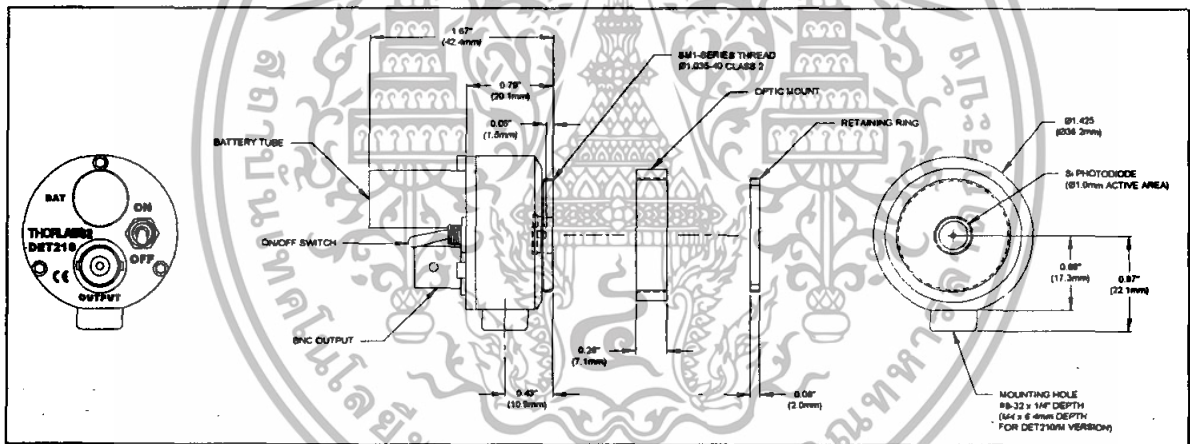


Figure 1. - Mechanical Dimensions

OPERATION:

Thorlabs DET series are ideal for measuring both pulsed and CW light sources. The DET210 includes a reversed-biased PIN photo diode, bias battery, and ON/OFF switch packaged in a ruggedized housing. The BNC output signal is the direct photocurrent out of the photo diode anode and is a function of the incident light power and wavelength. The Spectral Responsivity, $\mathfrak{R}(\lambda)$, can be obtained from Figure 2 to estimate the amount of photocurrent to expect. Most users will wish to convert this photocurrent to a voltage for viewing on an oscilloscope or DVM. This is accomplished by adding an external load resistance, R_{LOAD} . The output voltage is derived as:

$$V_O = P * \mathfrak{R}(\lambda) * R_{LOAD}$$

The bandwidth, f_{BW} , and the rise-time response, t_R , are determined from the diode capacitance, C_j , and the load resistance, R_{LOAD} as shown below:

$$f_{BW} = 1 / (2 * \pi * R_{LOAD} * C_j)$$

$$t_R = 0.35 / f_{BW}$$

For maximum bandwidth, we recommend using a 50Ω coax cable with a 50Ω terminating resistor at the end of the coax. This will also minimize ringing by matching the coax with its characteristic impedance. If bandwidth is not important, you may increase the amount of voltage for a given input light by increasing the R_{LOAD} up to a maximum of 10KΩ.

Note: The detector has an AC path to ground even with the switch in the OFF position. It is normal to see an output response to an AC signal with the switch in this state. However, because the detector is unbiased, operation in this mode is not recommended.

Figure 2 - DET210 Spectral Responsivity Curve

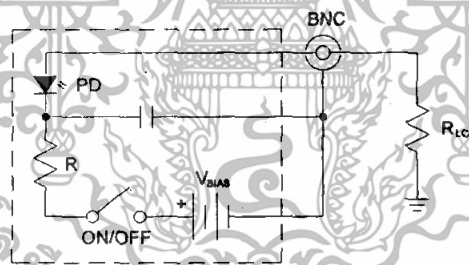
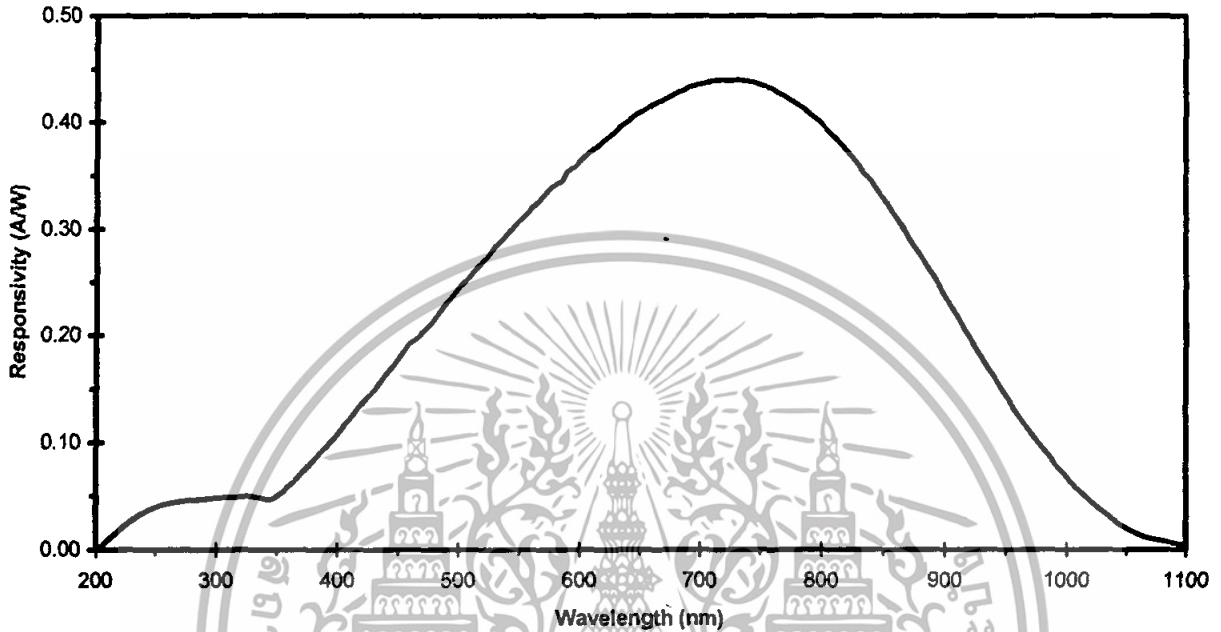


Figure 3 - Circuit Block Diagram

FIBER ADAPTERS AND OTHER ACCESSORIES

Thorlabs sells a number of accessories that are compatible with the 1" thread on the DET housing including FC, SMA, and ST fiber adapters, stackable lens tubes for mounting optics, and cage assemblies that allow the DET to be incorporated into elaborate 3-D optical assemblies.

Caution: The DET210 was designed to allow maximum accessibility to the photo detector by having the front surface of the diode extend outside of the DET housing. When using fiber adapters, make sure that the fiber ferrule does not crash into the detector. Failure to do so may cause damage to the diode and / or the fiber. An easy way to accomplish this is to install a SM1RR retaining ring (included with the DET210) inside the 1" threaded coupler before installing the fiber adapter.

Also available are InGaAs detectors, large area Si detectors, and a complete line of amplified detectors.

MAINTAINING THE DET210

There are no serviceable parts in the DET210 optical head or power supply. The housing may be cleaned by wiping with a soft, damp cloth. The window of the detector should only be cleaned using optical grade wipes. If you suspect a problem with your DET210 please call Thorlabs and technical support will be happy to assist you.

WEEE

As required by the WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) of the European Community and the corresponding national laws, Thorlabs offers all end users in the EC the possibility to return "end of life" units without incurring disposal charges.

This offer is valid for Thorlabs electrical and electronic equipment

- sold after August 13th 2005
- marked correspondingly with the crossed out "wheelie bin" logo (see fig. 1)
- sold to a company or institute within the EC
- currently owned by a company or institute within the EC
- still complete, not disassembled and not contaminated

As the WEEE directive applies to self contained operational electrical and electronic products, this "end of life" take back service does not refer to other Thorlabs products, such as

- pure OEM products, that means assemblies to be built into a unit by the user (e. g. OEM laser driver cards)
- components
- mechanics and optics
- left over parts of units disassembled by the user (PCB's, housings etc.).

If you wish to return a Thorlabs unit for waste recovery, please contact Thorlabs or your nearest dealer for further information.

Waste treatment on your own responsibility

If you do not return an "end of life" unit to Thorlabs, you must hand it to a company specialized in waste recovery. Do not dispose of the unit in a litter bin or at a public waste disposal site.

Ecological background

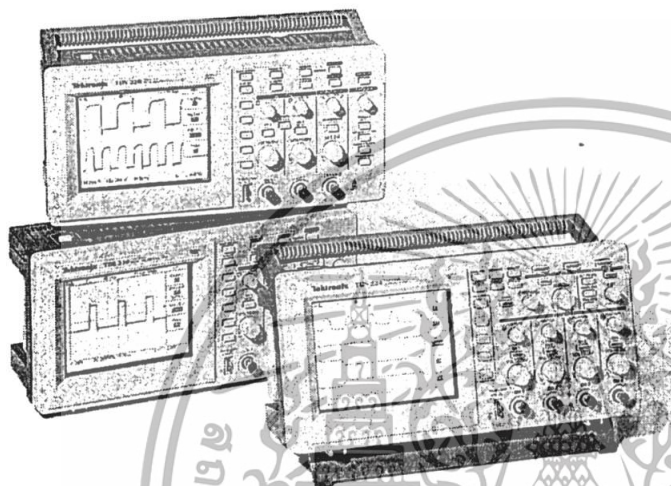
It is well known that WEEE pollutes the environment by releasing toxic products during decomposition. The aim of the European RoHS directive is to reduce the content of toxic substances in electronic products in the future. The intent of the WEEE directive is to enforce the recycling of WEEE. A controlled recycling of end of live products will thereby avoid negative impacts on the environment.



Crossed out "wheelie bin" symbol

Tektronix

TDS 210, TDS 220, TDS 224 Digital Real-Time™ Oscilloscopes



Tektronix' Most Popular DSO

The TDS 200 Oscilloscopes have quickly become the benchmark for low-cost oscilloscopes. Offering an unbeatable combination of performance, reliability and versatility, the TDS 200 Series offers breakthrough digital and real-time advantages at low-cost analog oscilloscope prices. And with the introduction of the TDS 224, Tektronix now brings the digital performance of the TDS 200 to customers that need four full-featured channels.

Affordable Digital Performance

No other digital oscilloscope offers as much bandwidth and sample rate for the price. By sampling at 10 and 16 times their bandwidths on all channels, the TDS 200 Series oscilloscopes provide accurate real-time acquisition up to their full bandwidth.

Versatility and Flexibility

The portable form factor provides increased versatility, allowing the instrument to be easily moved or safely stored away when not in use.

Easy to Use

The user interface is similar to that of an analog oscilloscope, but with improvements that reduce learning time and increase efficiency.

The Personal Oscilloscope

The TDS 200 Series oscilloscopes are designed for people who demand the ultimate in oscilloscope value. If an inexpensive yet high performance oscilloscope is needed for the bench, production line, or training lab, a TDS 200 Series Digital Real-Time Oscilloscope is the best choice.

FEATURES AND BENEFITS

60 MHz or 100 MHz with 1 GS/s Sample Rate on all Channels

Dual Timebase

Automatic Measurements

Multi-Language User Interface

Autoset

Waveform and Setup Memories

Extended Capabilities are Provided with Optional Modules, Software and Probing

APPLICATIONS

Design/Debug

Service and Repair

Manufacturing Test and Quality Control

Education/Training

TDS 200 Series Characteristics

SIGNAL ACQUISITION SYSTEM

Bandwidth –
 TDS 210: 60MHz.
 TDS 220: 100MHz.
 TDS 224: 100MHz.
 Sample Rate –
 1 GS/s on each channel.
 Channels –
 TDS 210 and TDS 220: 2 identical channels plus external trigger.
 TDS 224: 4 identical channels.
 Sensitivity (with calibrated fine adjustment) –
 2 mV to 5V/div (bandwidth limited to 20 MHz at 2 mV/div and 5 mV/div, in all modes, and 20 MHz at 10 mV/div in Peak Detect mode).
 Vertical Zoom –
 Vertically expand or compress a live or stopped waveform.

CALIBRATED POSITION RANGE

Volts/Div Setting	Offset Range
2 mV to 200 mV/div	±2 V
>200 mV to 5 V/div	±50 V

DC Gain Accuracy – ± 3%. (± 4% at 2 mV/div and 5 mV/div)
 Vertical Resolution –
 8 bits (256 levels over 10.24 vertical divisions).

AUTOMATIC MEASUREMENTS

Period, Frequency, Cycle RMS, Mean, Peak to Peak.

ACQUISITION MODES

Sample, Average, Peak Detect – High frequency and random glitch capture; captures glitches as narrow as 10 ns using acquisition hardware at all time/div settings between 5 µs/div and 5 s/div.

TIME BASE SYSTEM (MAIN AND WINDOW)

Horizontal Zoom – Horizontally expand or compress a live or stopped waveform.
 Time/Division Range – 5 ns to 5 s/div.
 Record Length – 2500 sample points per channel.
 Horizontal Accuracy – ± 0.01%.

NON-VOLATILE STORAGE

Waveform Display – Two 2500 point reference waveforms.
 Waveform Storage – Two 2500 point reference waveforms (TDS 210, TDS 220), four 2500 point reference waveforms (TDS 224).
 Setups – 5 front panel setups.

TRIGGERING SYSTEM (MAIN ONLY)

Trigger Type – Edge (Rising or Falling), Video, Set to 50%.
 Video Trigger Type – Triggers on Fields or Lines from sync-negative composite video; triggers on broadcast standard NTSC, PAL, or SECAM video.
 Trigger Modes – Auto, Normal, Single Sweep.
 Trigger Source –
 TDS 210 and TDS 220: CH1, CH2, Ext, Ext/5.
 TDS 224: CH1, CH2, CH3, CH4
 Trigger View – Displays trigger signal while trigger view button depressed.

CURSORS

Types – Voltage, Time.
 Measurements – ΔT , $1/\Delta T$, ΔV .

WAVEFORM PROCESSING

Arithmetic Operators – Add, Subtract.
 Sources – CH1±CH2, CH3±CH4.
 Autoset – Single button automatic setup on selected input signal for vertical, horizontal, and trigger systems.

DISPLAY SYSTEM

Robust, backlit LCD with adjustable multi-level contrast.
 Interpolation – Sin(x)/x.
 Modes – Vector, Dots, Dot Persistence.
 Format – YT and XY.

HARDCOPY CAPABILITY

Printer/File Formats – Thinkjet, Deskjet, Laserjet, Epson (9 or 24 pin), BMP, PCX, IMG, EPS, DPU 411, DPU 412.
 Hardcopy Layout – Landscape or Portrait.

TDS2CM COMMUNICATIONS EXTENSION MODULE

Centronics-type Parallel Port
 RS-232 Programmability – Full talk/listen modes. Control of all modes, settings, and measurements. Baud Rate up to 19,200. 9-Pin, DTE.
 GPIB Programmability – Full talk/listen modes. Control of all modes, settings, and measurements (IEEE Std 488-1987).

TDS2MM MEASUREMENT EXTENSION MODULE

FFT – Windows: Hanning, Flat Top, Rectangular.
 Sample points: 2048.
 Automatic Measurements – Rise/Fall Time, Positive/Negative Pulse Width.
 Interface – Centronics, RS-232, GPIB.

ENVIRONMENTAL AND SAFETY

Temperature –
 0° C to +50° C (operating).
 -20° C to +60° C (non-operating).
 Humidity –
 Up to 90% RH at or below +40° C;
 Up to 60% RH from 41° C to 50° C (operating and non-operating).
 Altitude –
 Up to 2000 m (operating).
 Electromagnetic Emissions –
 Meets Directive 89/336/EEC for Electromagnetic Compatibility;
 FCC Code of Federal Regulations, 47 CFR, Part 15, Subpart B, Class A.
 Safety – UL 3111, EN61010, CAN/CSA-C22.2 No. 1010.1-92.

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	mm	in.
Width	304.8	12.0
Height	151.4	5.96
Depth	120.7	4.75
Weight	kg	lb.
oscilloscope only	1.5	3.25
w/accessories	1.7	3.75

TDS 200 Series Ordering Information

TDS 200 Digital Real-Time™ Oscilloscopes

Standard Accessories

P6112 100MHz 10X Passive Probes (one per channel).

Warranty Information

Three year warranty covering all labor and parts, excluding probes.

International Power Plug Options

Standard – U.S. 115V, 60 Hz (161-0230-01).

Opt. A1 – Universal Euro 220 V, 50 Hz (161-0104-06).

Opt. A2 – United Kingdom 240 V, 50 Hz (161-0104-07).

Opt. A3 – Australia 240 V, 50Hz (161-0104-05).

Opt. A4 – North America 240 V, 60Hz (161-0104-08).

Opt. A5 – Switzerland 220 V, 50 Hz (161-0167-00).

Opt. AC – China 240 V, 50Hz (161-0306-00).

International User Manuals (TDS 200 Series Oscilloscopes)

Standard – English (071-0398-00).

Opt. L1 – French (071-0400-00).

Opt. L2 – Italian (071-0401-00).

Opt. L3 – German (071-0402-00).

Opt. L4 – Spanish (071-0399-00).

Opt. L5 – Japanese (071-0405-00).

Opt. L6 – Portuguese (071-0403-00).

Opt. L7 – Simplified Chinese (071-0406-00).

Opt. L8 – Traditional Chinese (071-0407-00).

Opt. L9 – Korean (071-0408-00).

Opt. LR – Russian (071-0404-00).

Translated front panel overlays included with their respective user manuals. (except Russian)

International User Manuals (TDS2xM Extension Modules)

Standard – English (071-0409-00).

Opt. L1 – French (071-0483-00).

Opt. L2 – Italian (071-0484-00).

Opt. L3 – German (071-0485-00).

Opt. L4 – Spanish (071-0482-00).

Opt. L5 – Japanese (071-0488-00).

Opt. L6 – Portuguese (071-0486-00).

Opt. L7 – Simplified Chinese (071-0489-00).

Opt. L8 – Traditional Chinese (071-0490-00).

Opt. L9 – Korean (071-0491-00).

Opt. LR – Russian (071-0487-00).

Instrument Accessories

TDS2CM – Communications Extension Module.

TDS2MM – Measurement Extension Module.

TR210 – Huntron Tracker®.

AD007 – LAN/WAN GPIB Converter.

AC220 – Soft Carrying Case.

RM200 – Rackmount Kit.

Service Manual (TDS 200 Series) – English only (071-0492-00).

TDS2CM and TDS2MM Programmer's Manual – English only (071-0493-00).

Software

WSTR0 – WaveStar™ software for Oscilloscopes. Windows 95/NT application for waveform capture, analysis, documentation and control from your PC.

WSTR0U – Upgrade from WSTR31 to WSTR0.

WSTR31 – WaveStar™ software for Windows 3.1 (TDS 210, TDS 220).

WSTR31U – Upgrade from DocuWave® software to WSTR31 (TDS 210, TDS 220).

Probes

P6015A – 1000X High Voltage Probe.

P6021 – 60 MHz AC Current Probe.

P6022 – 120 MHz AC Current Probe.

A621 – 2000 A AC Current Probe/BNC.

A622 – 100 A AC/DC Current Probe/BNC.

P5100 – 100X High Voltage Passive Probe.

P5200 – High Voltage Differential Probe.

P6101B – 1X Passive Voltage Probe (15 MHz).

P6243S – Active FET Probing System (1 GHz).

P6408 – Word Recognizer/Trigger Probe.

P6561A – SMD Small Geometry Probe.

AM503S – AC/DC Current Probe System.

Accessory Cables

GPIB, 1 m (3.3 ft) – Order 012-0991-01.

GPIB, 2 m (6.6 ft) – Order 012-0991-00.

RS-232, 9-Pin female to 9-Pin female connectors, null modem, 76 in. (1.9 m), for AT style computers – Order 012-1379-00.

RS-232, 9-Pin female to 9-Pin male connectors, 15 ft. (4.6 m), for modems – Order 012-1241-00.

Centronics, 25-Pin male to 36-Pin Centronics, 2.4 m (8 ft), for parallel printer interfaces – Order 012-1214-00.



For further information, contact Tektronix

Worldwide Web: for the most up-to-date product information visit our web site at: www.tektronix.com

ASEAN Countries (65) 356-3900; Australia & New Zealand 61 (2) 9888-0100; Austria, Central Eastern Europe, Greece, Turkey, Malta, & Cyprus +43 2236 8092 0; Belgium +32 (2) 715 89 70; Brazil and South America 55 (11) 3741-8360; Canada 1 (800) 661-5625; Denmark +45 (44) 850 700; Finland +358 (9) 4783 400; France & North Africa +33 1 69 86 81 81; Germany +49 (221) 94 77 400; Hong Kong (852) 2585-6688; India (91) 80-2275577; Italy +39 (2) 25086 501; Japan (Sony/Tektronix Corporation) 81 (3) 3448-3111; Mexico, Central America, & Caribbean 52 (5) 666-6333; The Netherlands +31 23 56 95555; Norway +47 22 07 07 00; People's Republic of China 86 (10) 6235 1230; Republic of Korea 82 (2) 528-5299; South Africa (27 11)651-5222 Spain & Portugal +34 91 372 6000; Sweden +46 8 477 65 00; Switzerland +41 (41) 729 36 40; Taiwan 886 (2) 2722-9622; United Kingdom & Eire +44 (0)1628 403300; USA 1 (800) 426-2200.

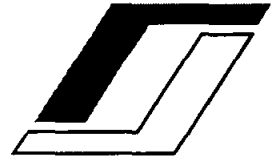
From other areas, contact: Tektronix, Inc. Export Sales, P.O. Box 500, M/S 50-255, Beaverton, Oregon 97077-0001, USA 1 (503) 627-6877.



Copyright © 1999, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix products are covered by U.S. and foreign patents, issued and pending. Information in this publication supersedes that in all previously published material. Specification and price change privileges reserved. TEKTRONIX and TEK are registered trademarks of Tektronix, Inc. All other trade names referenced are the service marks, trademarks or registered trademarks of their respective companies.

4/99 HB/XBS 40W-10992-4

Tektronix



Instruction manual EDA

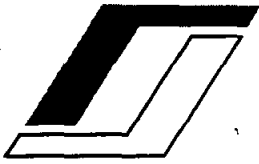
Interface card for amplifier system ENV

- EDA 2
- EDA 3
- EDA 4
- EDA 5

Please read the instructions carefully before switching on the device !

This instruction manual includes CD-ROM:
Interface Board EDA

Serial no.:

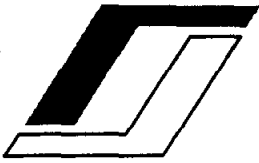


Contents

1. Introduction.....	5
2. Technical Data.....	6
3. Pin Connection X3 (C64).....	7
4. Pin Connection X4 (DSUB9).....	8
5. RS232-cable.....	9
6. Demosoftware.....	10
6.1. Installation.....	10
6.2. Getting started.....	11
6.3. Default setting.....	12
6.4. Voltage/Position.....	13
6.4.1. Overview.....	13
6.4.2. Switch Channels.....	14
6.4.3. Sliding Controls.....	14
6.4.4. Voltage Setting.....	14
6.4.5. Set Voltage.....	14
6.4.6. Voltage Display.....	14
6.4.7. Button Transmit All.....	14
6.4.8. Pick Up Auto Output.....	14
6.4.9. Measuring Interval.....	14
6.5. Standard Function.....	15
6.5.1. Overview.....	15
6.5.2. Functions.....	16
6.5.2.1. Sinus.....	16
6.5.2.2. Triangle.....	16
6.5.2.3. Jump.....	16
6.5.3. Parameter of Standard Function.....	16
6.5.4. Keys.....	17
6.5.5. Limits.....	18
6.6. Terminal.....	19
6.6.1. Overview.....	19
6.6.2. Buttons.....	20
6.6.3. Loading Programms.....	20
6.7. Settings.....	21
6.7.1. Overview.....	21
6.7.2. General Setup.....	22
6.7.3. Conversion.....	22
6.7.4. Data/Folder.....	23
6.7.5. Interface.....	24
6.7.5.1. RS232.....	24
6.7.5.2. IEEE 488.....	24
7. Hardware.....	25
7.1. Introduction.....	25
7.2. Microcontroller.....	25
7.2.1. Description.....	25
7.2.2. Behaviour of Interface Card after RESET.....	25
7.2.3. Memory EEPROM.....	26
7.2.4. Blockschaltbild EDA 2/3.....	27
7.2.5. Blockschaltbild EDA 4/5.....	28
7.3. Computer Interface.....	29
7.3.1. RS232.....	29



7.3.2. IEEE 488.....	29
7.4. Inputs/Outputs.....	30
7.4.1. analogue Outputs.....	30
7.4.2. analogue Inputs.....	30
7.4.3. digital Outputs.....	30
7.4.4. digital Inputs.....	30
8. Firmware.....	30
8.1. Overview.....	30
8.2. List of Commands.....	32
8.2.1. Monitor Commands.....	32
8.2.1.1. Overview.....	32
8.2.1.2. Command 'dc'.....	32
8.2.1.3. Command 'de'.....	33
8.2.1.4. Command 'di'.....	33
8.2.1.5. Command 'dx'.....	33
8.2.1.6. Command 'df'.....	33
8.2.1.7. Command 'dm'.....	33
8.2.1.8. Command 'ei'.....	33
8.2.1.9. Command 'ex'.....	34
8.2.1.10. Command 'ee'.....	34
8.2.1.11. Command 'fi'.....	34
8.2.1.12. Command 'fx'.....	34
8.2.1.13. Command 'wf'.....	34
8.2.1.14. Command 's'.....	34
8.2.1.15. Command 'co'.....	35
8.2.1.16. Command 'mtst'.....	35
8.2.1.17. Command 'baud'.....	35
8.2.1.18. Command 'ver'.....	35
8.2.1.19. Command 'sh'.....	35
8.2.1.20. Command 'q'.....	36
8.2.1.21. Command 'fdel'.....	36
8.2.1.22. Command 'go'.....	36
8.2.1.23. Command 'help'.....	36
8.2.2. System Commands.....	37
8.2.2.1. Overview.....	37
8.2.2.2. Command 'start'.....	38
8.2.2.3. Command 'stop'.....	38
8.2.2.4. Command 'M'.....	38
8.2.2.5. Command 'cset'.....	38
8.2.2.6. Command 'ke'.....	39
8.2.2.7. Command 'ka'.....	39
8.2.2.8. Command 'set'.....	39
8.2.2.9. Command 'rk'.....	39
8.2.2.10. Command 'rkz'.....	40
8.2.2.11. Command 'setall'.....	40
8.2.2.12. Command 'save'.....	40
8.2.2.13. Command 'setdr'.....	40
8.2.2.14. Command 'setsp'.....	41
8.2.2.15. Command 'setsi'.....	41
8.2.2.16. Command 'cl'.....	42
8.2.2.17. Command 'amt'.....	42
8.2.2.18. Command 'setk'.....	42



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.2.19. Command 'setc'.....	42
8.2.2.20. Command 'setcc'.....	42
8.2.2.21. Command 'dp'.....	43
8.2.2.22. Command 'rch'.....	43
8.2.2.23. Command 'rcha'.....	43
8.2.2.24. Command 'sp'.....	43
8.2.2.25. Command 'measure'.....	43
8.2.2.26. Command 'ERR?'.....	43
8.2.2.27. Command 'as'.....	44
8.2.2.28. Command 'as?'.....	44





1. Introduction

The purpose of the interface card is the intelligent in-and output of digital aswell as analogue signals. It was optimised for controlling piezo actuator amplifier. The interface card can store user written makros and work independent of a personal computer. The EDA interface card is available in the following versions:

- as 12-bit version:

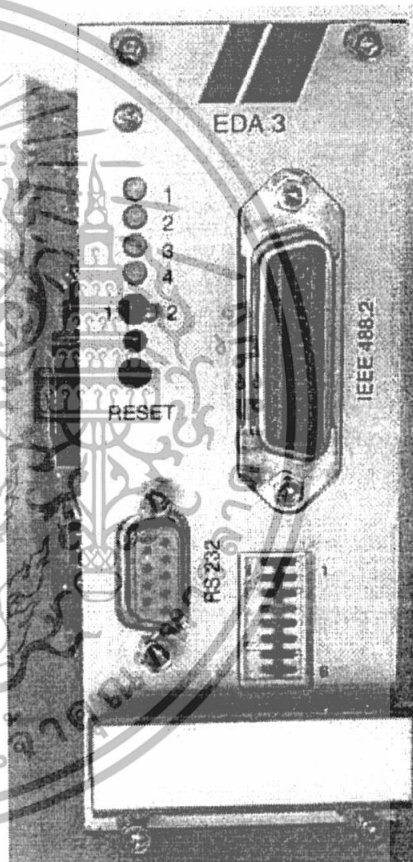
- with RS232 - EDA 2
- with RS232 and IEEE 488 - EDA 3

- as 16-bit Version:

- with RS232 - EDA 4
- with RS232 and IEEE 488 - EDA 5

The EDA consists of the the modules computer interface and analogue electronic. In addition there are 8 digital in-and outputs. The modules are controlled by CPU SAB-C515A with 128KByte FLASH-EPROM and 128KByte RAM. The micro controller works at 11.059 MHz clock frequency. The EDA was build on a Europe card (MLL 100x160 mm²). PC-interfaces and control elements are on the front panel of the EDA, whereas inputs and outputs aswell as the working current are delivered via a 64-pin connector at the back side of the card.

The EDA is delivered with user manual and CD-ROM EDA. The CD contains the demo-software demoeda.EXE, some programing tools for the EDA and the source code of the demosoftware.





COMPETENCE
IN PRECISION

2. Technical Data

circuit board: 100x160 mm²
 working voltage: +5V (140mA), +/-15V (15mA)
 CPU: SAB-C515A (SIEMENS)
 data memory: 128 kByte
 code memory: 128 kByte FLASH
 256 Byte EEPROM
 digital outputs: 8
 digital inputs: 8
 display: 4 x LED (front panel)

variant of EDA		2	3	4	5
RS232 (front panel)		x	x	x	x
IEEE 488 (front panel)			x		x
analogue outputs (0..10V)					
resolution:	4 x 12 Bit	x	x		
resolution:	4 x 16 Bit			x	x
analogue inputs					
resolution:	8 x 12 bit	x	x		
input voltage:	+/-10V, +/-5V, 0..10V, 0..5V				
resolution:	4 x 16 bit			x	x
input voltage:	0..10V				



3. Pin Connection X3 (C64)

A			C	
pin	signal	description	signal	description
1	GND	digital ground	GND	digital ground
2	GND	digital ground	GND	digital ground
3	eo7	digital output 7	eo6	digital output 6
4	VCC	+5V digital	VCC	+5V digital
5	eo5	digital output 5	eo4	digital output 4
6	+15V	analogue Ub	+15V	analogue Ub
7	eo3	digital output 3	AI5	analogue input 5
8	AGND	analogue ground	AGND	analogue ground
9	AGND	analogue ground	AGND	analogue ground
10	AI6	analogue Eingang 6	AI7	analogue input 7
11	-15V	analogue Ub	-15V	analogue Ub
12	AI1	analogue input 1	AI0	analogue input 0
13	AI2	analogue input 2	AO0	analogue output 0
14	AO2	analogue output 2	AO1	analogue output 1
15	eo0	digital output 0	eo2	digital output 2
16	eo1	digital output 1	AO3	analogue output 3
17	AI3	analogue input 3	AI4	analogue input 4
18	-	NC	-	NC
19	-	NC	-	NC
20	-	NC	-	NC
21	-	NC	-	NC
22	-	NC	-	NC
23	-	NC	-	NC
24	-	NC	-	NC
25	-	NC	-	NC
26	AGND	analogue ground	AGND	analogue ground
27	ei4	input 4 (0...5V)	ei3	input 3 (0...5V)
28	ei5	input 5 (0...5V)	ei2	input 2 (0...5V)
29	ei6	input 6 (0...5V)	ei1	input 1 (0...5V)
30	-	NC	-	NC
31	ei7	input 7 (0...5V)	ei0	input 0 (0...5V)
32	-	NC	-	NC

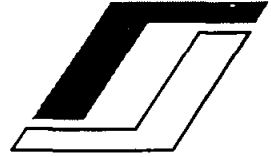


COMPETENCE
IN PRECISION

4. Pin Connection X4 (DSUB9)

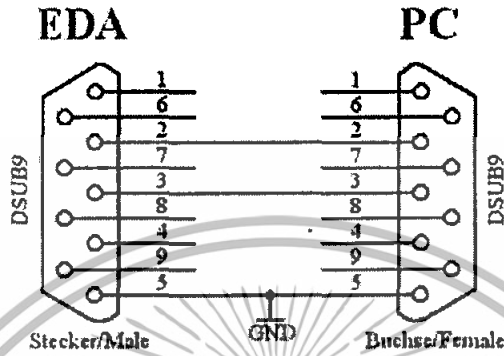
pin	signal
1	NC
2	TxD
3	RxD
4	connected with pin 6
5	GND
6	connected with pin 4
7	connected with pin 8
8	connected with pin 7
9	NC



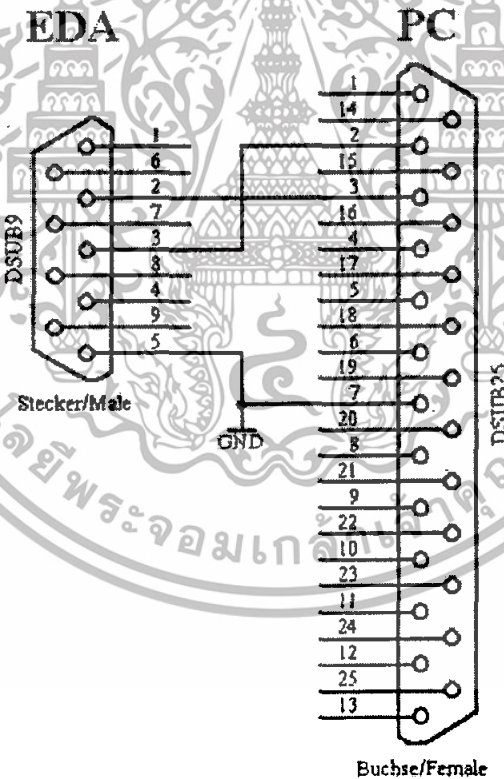


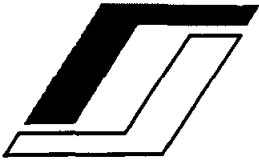
5. RS232-cable

- 9-pol → 9-pol cable



- 9-pol ⇒ 25-pol cable





COMPETENCE
IN PRECISION

6. Demosoftware

6.1. Installation

System Requirements:

- PC running Windows 3.11, 95/98 oder NTx
- 8 MB free memory on hard disc

Software:

- Microsoft Windows 3.11 capable of 32-Bit processing, 95/98 or NTx

ACROREAD:

ACROBAT-READER

DATASHEETS:

datasheets for EDA

DOC:

Documentation

SOURCE:

C51-source for Urlader and actual EDA-program

EDA2_5.HEX – program stored on interface card, download with included terminal software possible

URLADER.HEX – simple download program for page 1, download with included terminal software possible

WWW.PIEZOJENA.COM:

Website of piezosystem jena GmbH

- copy DEMOEDA.EXE and Help-Files onto hard disc and execute
- press F1 or use with '?' for Help



6.2. Getting started

After starting the demo program for the first time parameters and possible settings are set by default. The language setting adjusts to the language of the operating system. In case of a system language different from German or English the program language is set to English. The subroutine **Voltage/Way** is activated. The interface is specified as RS232 on COM1 with 9600 Baud. If COM 1 is not accessible an error is prompted and the menu **Settings** opens. The settings have to be adjusted. After changing to the subroutine **Terminal** the EDA should use it prompt:

EDAx Vn.nnn S0>

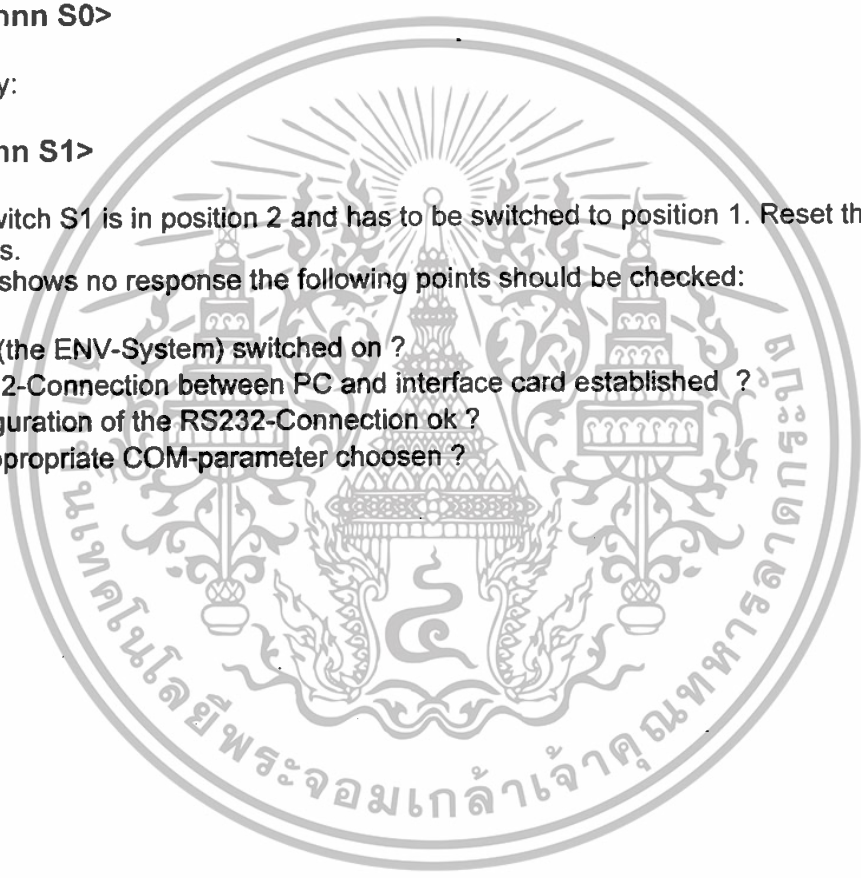
In case of reply:

URL Vn.nnn S1>

the function switch S1 is in position 2 and has to be switched to position 1. Reset the interface card afterwards.

If the terminal shows no response the following points should be checked:

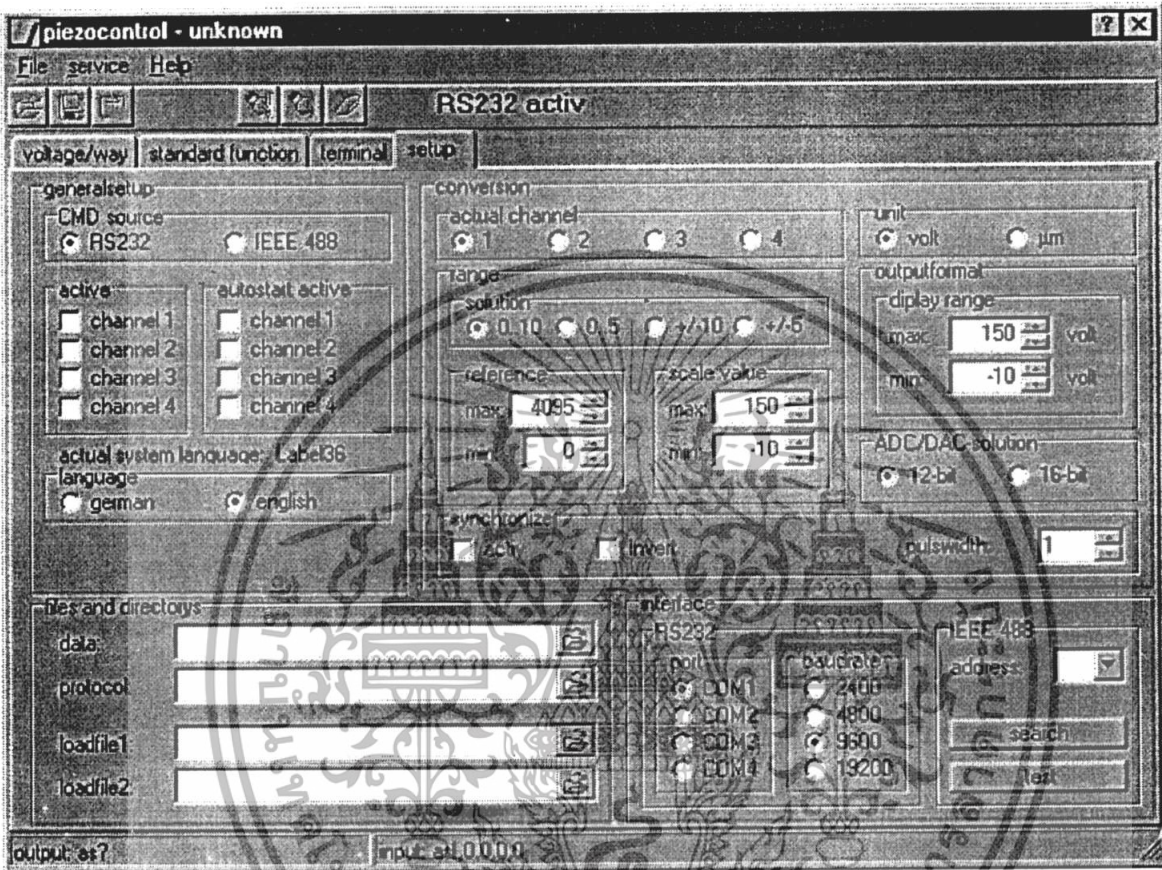
- is the EDA (the ENV-System) switched on ?
- is the RS232-Connection between PC and interface card established ?
- is the configuration of the RS232-Connection ok ?
- were the appropriate COM-parameter chosen ?





COMPETENCE
IN PRECISION

6.3. Default setting

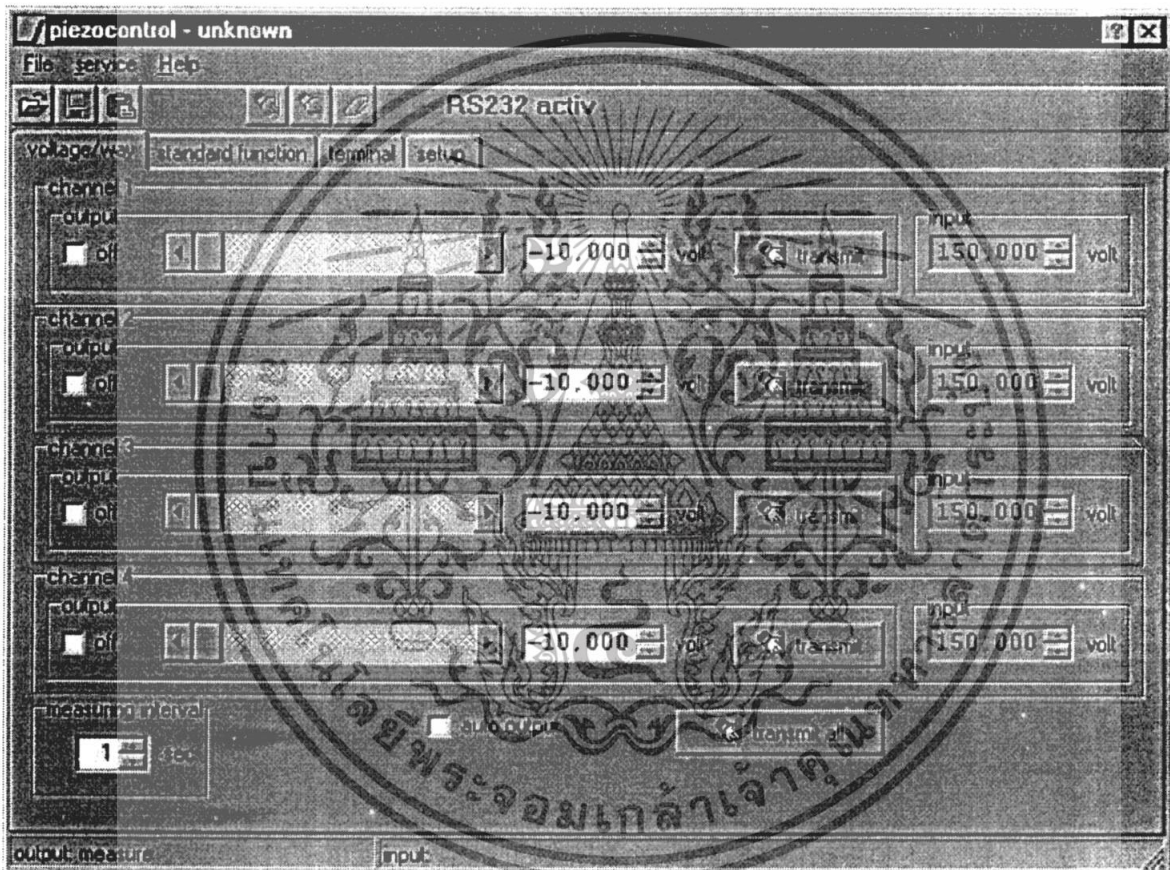




6.4. Voltage/Position

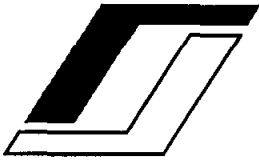
6.4.1. Overview

In this register every accessible channel can be supplied with a different voltage and the corresponding position of the piezo actuator is displayed. Changes in driving voltage or position of piezo can be made by altering the settings via sliding control or edit field. For accessing control elements of a channel, the channel has to be activated first.



As long as this register is activated the 8 (EDA2/3) or 4 (EDA3/4) channel of the AD-converter are read out and the measured values are send to the demo program using the command 'aw'. The procedure is repeated at an intervall specified by .measuring interval.

By changing to or leaving from this register all channels are switched off.



COMPETENCE
IN PRECISION

6.4.2. Switch Channels

The marked channel is activated. This is only possible if the corresponding channel was activated in the setup register.

6.4.3. Sliding Controls

The output voltage can be specified. If the box **auto output** is marked, changes will be transmitted to the EDA immediately.

6.4.4. Voltage Setting

The output voltage can be changed directly or by means of the arrow keys. If the box **auto output** is marked, changes will be transmitted to the EDA immediately.

6.4.5. Set Voltage

The specified voltage of the selected channel is sent by **set,nr,Usoll**.

6.4.6. Voltage Display

If the register **Voltage/Distance** is activated, a cyclic voltage measurement of all activated ADC-Channels is performed by using the command **measure**. The periodicity of measurements can be changed in the sub menu **measuring interval**. The EDA answers with the command 'aw,wert0,wert1,...,wert7'. These voltage values are scaled and displayed according to the rules defined in the register **Setup/Scaling/Measurement Range**.

6.4.7. Button Transmit All

All four specified voltages are transmitted using the command **setall**.

6.4.8. Pick Up Auto Output

By marking this option changes are transmitted automatically.

6.4.9. Measuring Interval

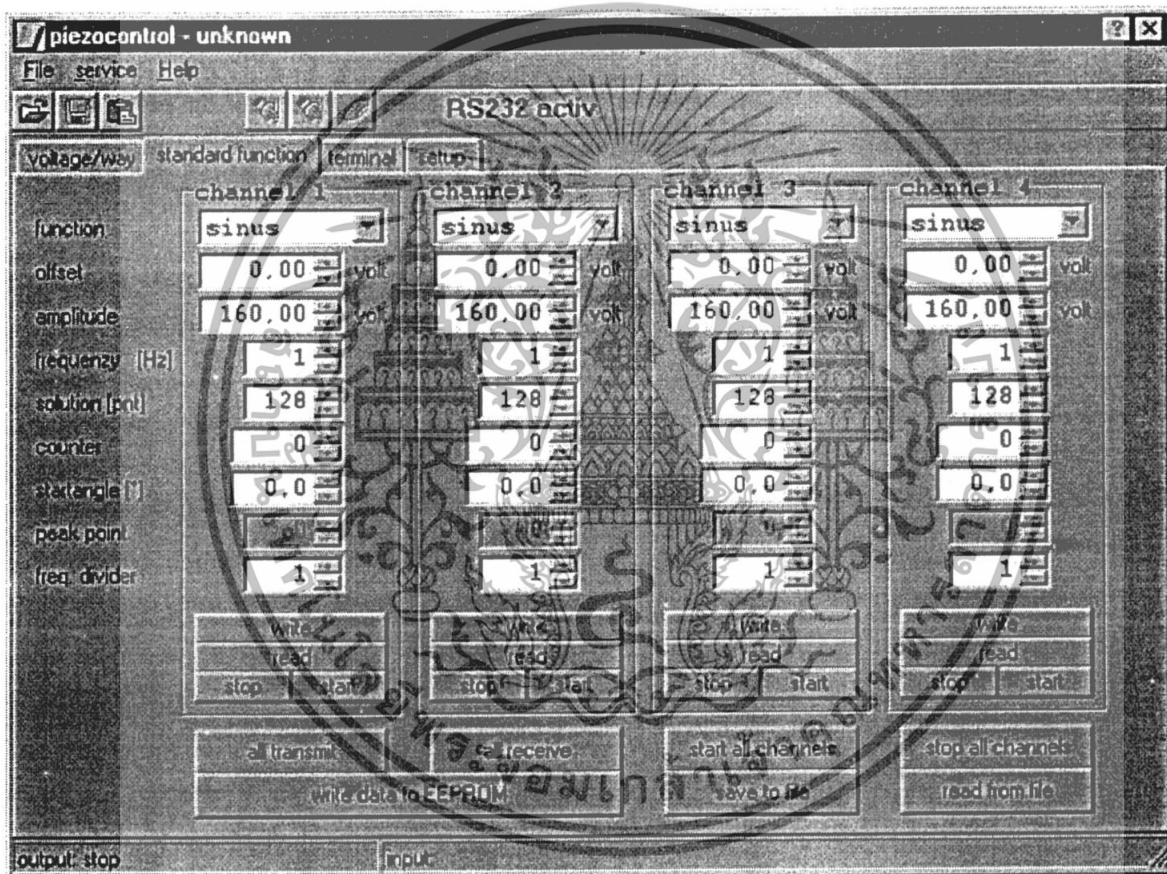
The period time for voltage measurements can be set here. Possible intervals range from 0 to 25 seconds. If 0 seconds is selected no voltage measurement is performed.

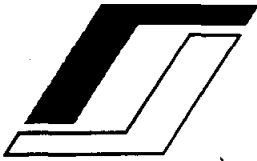


6.5. Standard Function

6.5.1. Overview

The register page enables setting and output of standard functions. The parameters of the function can be set up easily and send to the EDA. Moreover actual parameters can be stored permanently (EEPROM). Different parameter profiles can be stored onto PC. Standard function contain sinus, triangle und jump. The channels can be started and stopped seperatly or synchronously.





COMPETENCE
IN PRECISION

6.5.2. Functions

6.5.2.1. Sinus

A sinus function specified by the parameters in the same groupbox is modulating the piezo actuator. The current parameters are transmitted to the EDA by pressing **write**. The corresponding system command is **setsi**. The parameter **vertex** is not defined for this function.

6.5.2.2. Triangle

A triangle function specified by the parameters in the same groupbox is modulating the diezo actuator. The current parameter are transmitted to the EDA by pressing **write**. The corresponding system command is **setdr**.

6.5.2.3. Jump

A jump function specified by the parameters in the same groupbox is modulating the diezo actuator. The current parameter are transmitted to the EDA by pressing **write**. The corresponding system command is **setsp**. The parameter **vertex** and **resolution** are not defined for this function.

6.5.3. Parameter of Standard Function

Offset

Offset can be altered within the limits set in register setup.

Amplitude

Amplitude can be altered within the limits set in register setup. If offset is set to zero the entire voltage range is used for modulation.

Frequency

The parameter defines the frequency of the output signal. For each standard function the frequency has to be specified. The maximum frequency is depended on the specified standard function and the resolution.

Resolution

The parameter specifies the number of points used within a periode of the specified function. For **sinus-** and **triangle function** the possible values range from 4..128 points in steps of 2. As higher the resolution as lower the **maximum frequency**. The resolution of the standard function **jump** is set to 2.



Number of periods

Limits the number of periods of the standard function. By selecting the value 0, the output is permanently.

Initial angle

The initial angle enables to start the output at any phase angle. By working with several channels the phase difference between them can be easily manipulated.

Vertex

This parameter is valid for the function *triangle* only. The vertex can be set to any position within the period enabling sawtooth function like output.

Frequency divider

The frequency is divided by the value specified here. Maximum value depends on function and parameters chosen.

6.5.4. Keys

write

The parameter of the corresponding channel are send to the EDA via **setsi**, **setdr** or **setsp**. They are stored until the next reset. To store parameter permanently they have to be saved onto EEPROM by pushing WRITE DATA TO EEPROM button.

Read

Parameter of the selected channels are read and displayed.

stop

Channel is stopped by command **stop,ch**.

start

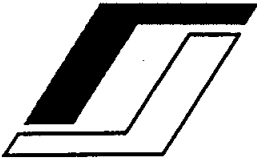
Channel is started by command **start,ch**.

write all channels

All parameter of all channels are send to the EDA.

read all channels

Parameter of every channel are read and displayed.



COMPETENCE
IN PRECISION

start all channels

Every activated channel is started WITHOUT PARAMETER by sending the command start. Parameters are set by sending the command cset,... before.

stop all channels

The program sends the command stop without parameter to the EDA. This stops all channels.

write data to EEPROM

By sending the command save all parameters are stored permanently to EEPROM

save to file

The selected parameters are saved as file..

read from file

A previously saved data file can be reloaded..

6.5.5. Limits

Limits of frequency and resolution for sinus and triangle function are:

active Channels	f _{max} /Hz	Resolution/Pnt
1	65	→ 128
1	2083	→ 4
2	36	→ 128
2	1166	→ 4
3	23	→ 128
3	750	→ 4
4	10	→ 128
4	333	→ 4

jumpfunction:

active Channels	f _{max} /Hz
1	4166
2	2333
3	1500
4	666

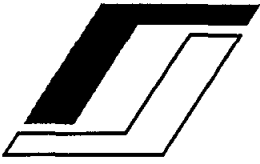


6.6. Terminal

6.6.1. Overview


The register "TERMINAL" contains a small terminal program. Command strings can be typed in here and send directly to the EDA. It can be used to communicate with the EDA, to test command sequences or to load user defined programs. The terminal works for the RS232 interface only.






COMPETENCE
IN PRECISION

6.6.2. Buttons

 file 1, file 2

Each button can be used for a HEX-file. By pushing a button the corresponding file is downloaded.

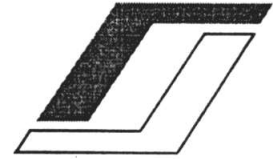
 delete

By pushing this button the memory is deleted by sending 'fdel' to the EDA. The command has to be confirmed before it applies.

6.6.3. Loading Programms

Since the EDA contains of a memory, it is possible user defined programs to load into memory and start from there. The programs have to be written in INTEL-HEX-format. Before loading the FLASH-memory page has to be deleted and the opposite page has to be selected.

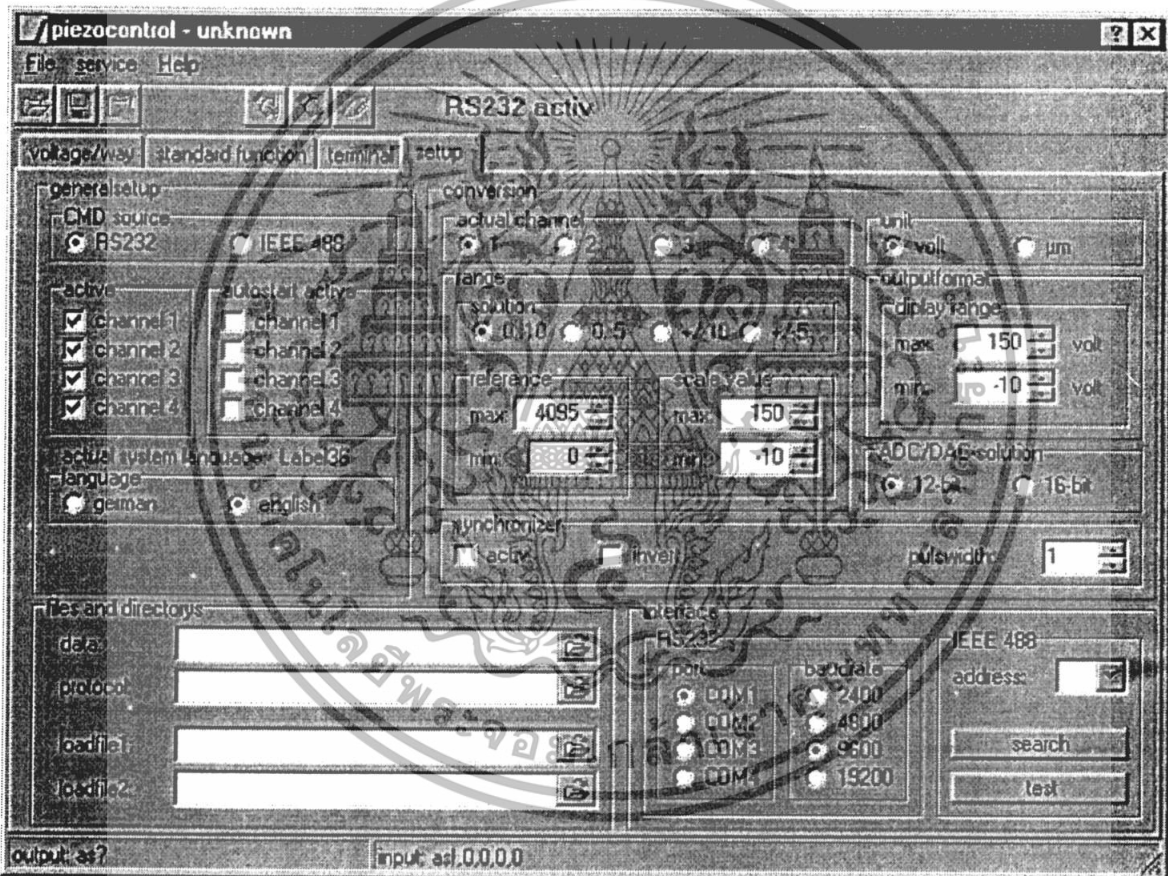




6.7. Settings

6.7.1. Overview

The register enables to completely setup the EDA interface card. All settings are saved before leaving the program and restored when starting the program again. If there is no connection to the IEEE interface the interface option will be deactivated. It may have to be activated by using the "test" button. Starting the program for the first time the default settings are chosen to guarantee a functioning of the EDA. If problems should be encountered there is additional help at getting started.





COMPETENCE
IN PRECISION

6.7.2. General Setup

active	autostart active
<input type="checkbox"/> channel 1	<input type="checkbox"/> channel 1
<input type="checkbox"/> channel 2	<input type="checkbox"/> channel 2
<input type="checkbox"/> channel 3	<input type="checkbox"/> channel 3
<input type="checkbox"/> channel 4	<input type="checkbox"/> channel 4

active

The channels later to be worked with (at the register **Voltage/Way** and **standard functions**) are activated here.

autostart active

By choosing this option a program saved on **EEPROM** will be started after **RESET** and applied to the channel selected. Switch S1 has to be in position 1 !!

language

The preferred program and helpfile language can be selected.

language
<input type="radio"/> german
<input checked="" type="radio"/> english

command source

CMD source
<input checked="" type="radio"/> RS232
<input type="radio"/> IEEE 488

As command source a **RS232** or for the **EDA** a **IEEE 488** too can be chosen. The setting defines the channel of transmission from PC to interface card. The **EDA** implements

both interfaces. Commands for interfaces differ slightly (List of Commands: System Commands).

6.7.3. Conversion

conversion	
actual channel	unit
<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> volt <input type="radio"/> μ m
range	output format
solution	display range
<input checked="" type="radio"/> 0.10 <input type="radio"/> 0.5 <input type="radio"/> +/-10 <input type="radio"/> +/-5	max: 150 volt
reference	min: -10 volt
max: 4095	ADC/DAC-solution
min: 0	<input checked="" type="radio"/> 12-bit <input type="radio"/> 16-bit
scale value	
max: 150	
min: -10	
synchronizer	pulswidth: 1
<input type="checkbox"/> activ <input type="checkbox"/> invert	

channel

The channel is chosen influenced by the range and output format settings.

units

The setting has no influence on scaling and output format. Piezo actuators can be driven controled or uncontroled. Depending on mode of operation the feedback signal to the **EDA** corresponds to the

driving voltage (in volts) or the actuator position (in microns).

range

The measurement range of the **ADC** corresponding to the channel (1 - 4) chosen can be set up here.



reference dimension and scale value

The value measured by the ADC is converted into a value displayed to the user in the register voltage/way. Conversion is made between the measured ADC-minimum/maximum and the minimum/maximum of the voltage or position.

displayed value

Linear interpolation between the limits set in output format

display range

Range of values displayed in the register **voltage/way**.

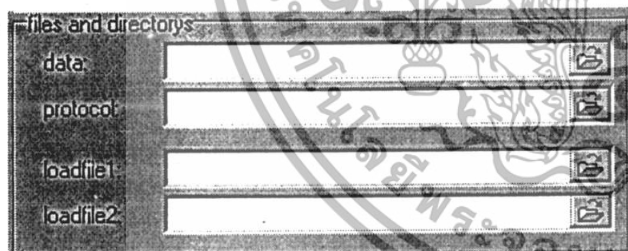
ADC/DAC solution

Setup range of converter solution (EDA2/3 - 12-Bit, EDA4/5 - 16-Bit). If EDA active, the demoprogram converter solution recognize independent.

synchronize extern

If **activ** is checked then set digital output to **1** and reset after interval (**pulswidth**). If **invert** checked outputlevel is inverted.

6.7.4. Data/Folder



data

The selected folder contains datafiles saved during operation.

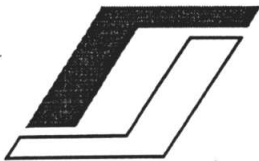
Protocol

Protocol files are saved into this folder.

Names are generated automaticly starting with 00000000.pro.

loadfile1/2

Path for 2 files available for terminal download.



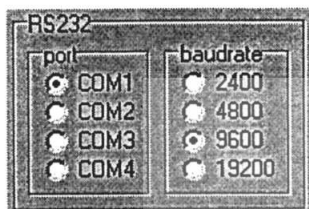
COMPETENCE
IN PRECISION

6.7.5. Interface

6.7.5.1. RS232

COM

The serial interface is specified here.



baud rate

Setup of the baud rate of transmission over serial interface (default setting 9600 bit/sec).

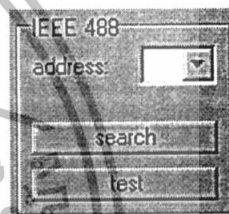
6.7.5.2. IEEE 488

address

Selection of GPIB-Adresse of EDA.

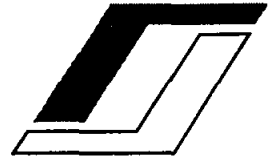
search

The demoprogram looks for IEEE-listener addresses. Addresses found are displayed in a list box and may be chosen with **ADDRESS**.



test

By pressing the button **Test** a connection to an GBIP-Interface (gpib-32.dll) is tried to establish. If the IEEE-DLL is not found, there is no interaction with the interface possible. In this case either there is no IEEE-interface card connected to the pc or the IEEE-driver are not installed. It is important to point out that the EDA3/5 is only able to work with the 32-Bit IEEE driver. If an error occurs during communication over IEEE-bus the communication is switched to the command source **RS232**.



7. Hardware

7.1. Introduction

The interface card consists of two parts - computer interface and analogue electronics. In addition, 8 digital outputs and 8 digital inputs exist. The main circuit of this card is the micro controller SAB-C515A with 128k Flash-EPROM and 128k RAM. This controller works at a clock frequency of 11,059 MHz. The interface card is realised as a simple Europe board (100x160 mm²).

Buttons, displays and interface connector are placed on the front panel. The power supply and the digital and analogue inputs and outputs are connected via a basic 64-pin connector.

7.2. Microcontroller

7.2.1. Description

The microcontroller used is a SAB-C515A with 8-bit MCU, 128k Flash-EPROM and 128k RAM working at a clock frequency of 11,059 MHz. It is only able to directly address 64 kByte code and data memory. Therefore the code memory was split into two memory pages. Only one of this pages is active after reset.

A monitoring program is saved on the active page 0 (A16FLASH = 0) after resetting the microcontroller. This monitoring program includes functions to communicate with the host, to operate the ADC and DAC and to write and delete the contents of memory page 1. Switching between the two pages is initiated by software and the necessary logic for this is realised by a GAL.

The shared data memory can be changed by software as well (P4.4). After RESET the RAM page 1 (A16RAM = 1) is activated.

The periphery units of the interface card are addressed in memory space 0xff60 – 0xffff.

Basic values for the operation of the interface card are saved in address space 0x0080 to 0x00ff of code memory on page 1. These basic values cannot be deleted but remain on a EEPROM with a capacity of 256 Byte.

7.2.2. Behaviour of Interface Card after RESET

After RESET all analogue outputs are set to 0V, all digital outputs are set to 'HIGH' and the RS232-Interface sends the message:

"EDA2,00,n(CR/LF)" and
"EDAx Vn.nn S0>(CR/LF)"

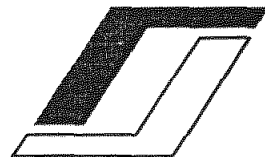
All LEDs on front panel are switched off (unlit), the baud rate is set to 9600 (default) and the function switch status is checked. If the switch is in position 1, the controller will stay in the monitor program loop and will wait for user inputs. If the switch is in position 2, the controller will check if an executable program is saved at code memory page 1. If so the controller will run this program. Otherwise the controller checks if sensible parameters are saved. If it finds executable parameters, it will activate the appropriate channels and start the output function. If the controller finds no sensible commands on code page 1, it returns to the monitor program.

7.2.3. Memory EEPROM

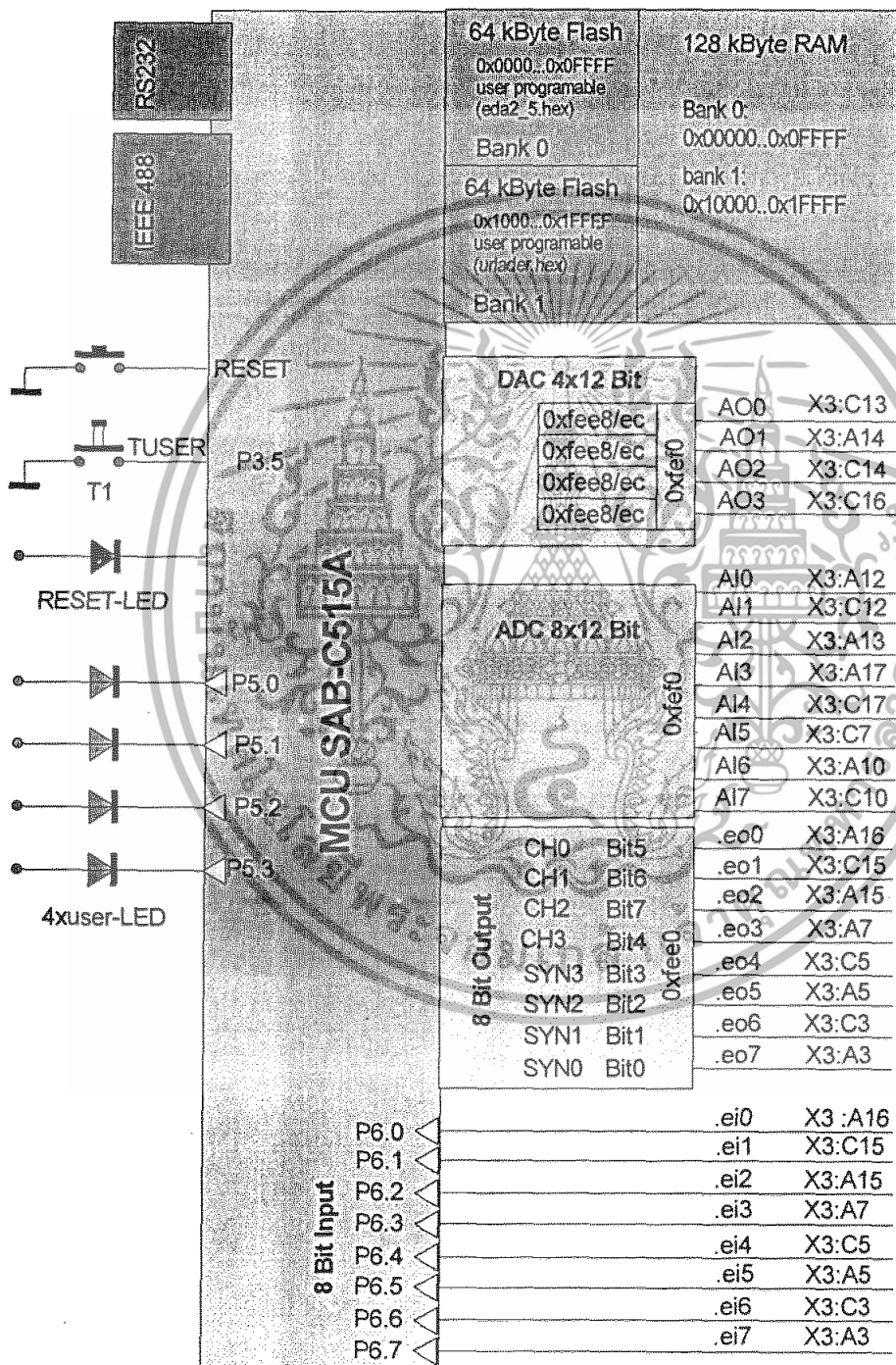


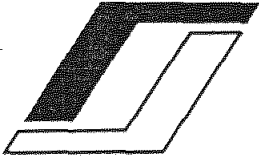
COMPETENCE
IN PRECISION

Adr(HEX)	Symbol	Contents
0x00	xxx	- used for internal checking
0x01	IEEE_EOS	- Label for EOS
0x02	IEEE_ADR	- Address IEEE
0x03	IEEE_SRQ	- SRQ-Register
0x04	IEEE_PPR	- Parallel-Register
0x81	LPNUMMER	- Number of circuit board
0x83	DATUM	- Date of delivery control
0x87	PRUEFER	- Name of controller
0x8d	PROGANZ	- Number of programs
0x8f	F_BAUD	- Baudrate, 0-2400,1-4800,2-9600,3-19200
0xa0	F_MODE	- Mode:0(SINUS),1(DREIECK),2(JUMP)
0xa4	F_AMPLITUDE	- Parameter Amplitude
0xac	F_OFFSET	- Parameter Offset
0xb4	F_FREQUENZ	- Parameter Frequency
0xbc	F_ANZAHL	- Parameter Number of periods
0xc4	F_SCHRITTWEITE	- Parameter Resolution
0xcc	F_WOFFSET	- Parameter Initial angle
0xd4	F_SCHEITEL	- Parameter Vertex
0xdc	F_DIVISOR	- Parameter Frequency division
0xe4	F_IMPULS	- Parameter synchronisation
0xf0	F_MESSBEREICH	- Measurement range ADC
0xf8	F_AUTOSTART	- active channel for Autostart

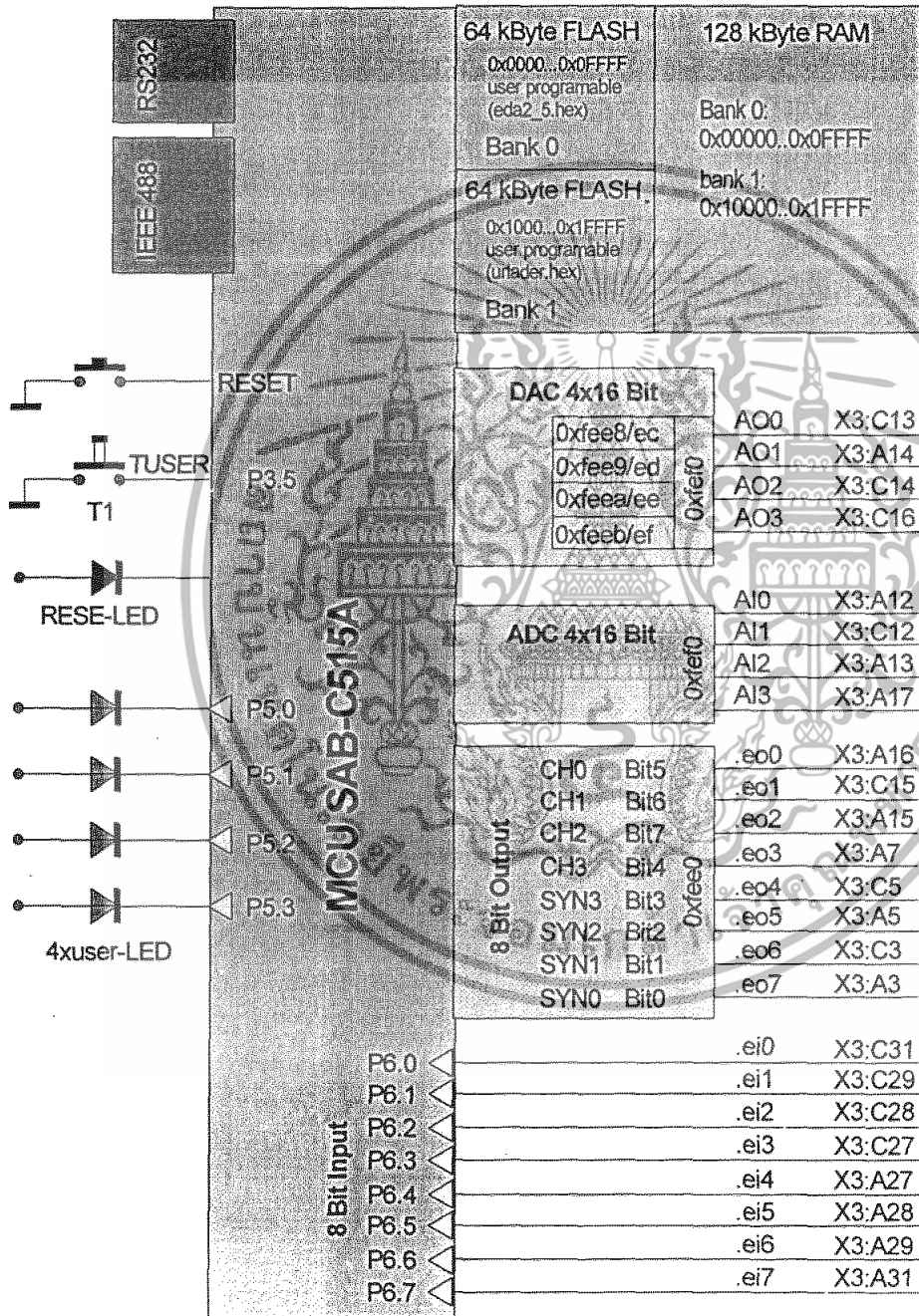


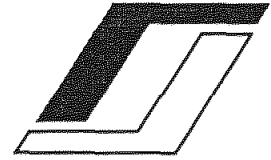
7.2.4. Blockschaltbild EDA 2/3





7.2.5. Blockschaltbild EDA 4/5





7.3. Computer Interface

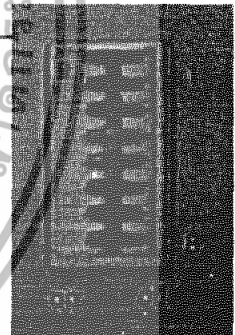
7.3.1. RS232

The computer interface is realised by an serial interface RS232. The baud rate can be set by software to the values 2400, 4800, 9600 (default value) and 19200. The transfer protocol is set to 8 data bits, 1 stop bit, with neither parity nor flow control. The communication between computer and interface card is realised by transfer of strings in ASCII-Code. The strings are terminated by CR (0x0d). The receiving software ignores values less than 0x20 (SPACE) and greater than 0x7f (DEL). Input errors can be corrected by BACKSPACE (0x08). Parameters are comma-separated e.g. help,start(CR).

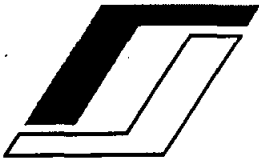
7.3.2. IEEE 488

The IEEE 488 Interface is based on a modul by CompuBoards. All pin connections are according to the IEEE standard. Data transfer is performed in 7-bit mode. Every writing operation is followed by an EOI (end of instruction). Switch 2 handels the Interface address. By default the GBIP address is set to 8. It can by changed by means of switches S2.1 to S2.5. Switch S2.1 corresponds to binary adress bit '0'. Switches S2.6 to S2.8 are without meaning.

Switch S2	8	7	6	5	4	3	2	1
Bit 0	x	x	x	0	0	0	0	1
Bit 1	x	x	x	0	0	0	1	0
Bit 2	x	x	x	0	0	1	0	0
Bit 3	x	x	x	0	1	0	0	0
Bit 4	x	x	x	1	0	0	0	0
Default setting:	0	0	0	0	1	0	0	0



Attention: A change in the address setting applies after 'RESET' only!



COMPETENCE
IN PRECISION

7.4. Inputs/Outputs

7.4.1. analogue Outputs

- Channels: 4
- Resolution EDA2/3: 12 Bit
- Resolution EDA4/5: 16 Bit
- Output voltage range: 0...10V

Channel	Adress	Function
CSLSB0	- 0xfee8	write LOW-Byte Channel 0
CSMSB0	- 0xfeec	write HIGH-Byte Channel 0
CSLSB1	- 0xfeea	write LOW-Byte Channel 1
CSMSB1	- 0xfeee	write HIGH-Byte Channel 1
CSLSB2	- 0xfee9	write LOW-Byte Channel 2
CSMSB2	- 0xfecd	write HIGH-Byte Channel 2
CSLSB3	- 0xfeeb	write LOW-Byte Channel 3
CSMSB3	- 0xfef	write HIGH-Byte Channel 3
LDAC1	- 0xfef0	transfer all DAC-Register

7.4.2. analogue Inputs

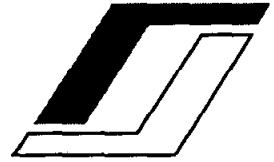
- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| | EDA2/3 | EDA4/5 |
| • Channels: | 8 | 4 |
| • Resolution: | 12 Bit | 16 Bit |
| • Measurement range EDA2/3: | +/-10V, +/-5V, 0..10V, 0..5V | 0..10V |
| • Hardware address: | 0xfee4 | 0xfee4 |

7.4.3. digital Outputs

- IC: 74HCT573
- Hardware address: 0xfee0

7.4.4. digital Inputs

The controller's ADC-input pins are used for digital input. Due to this arrangement TTL-signals can be read and in addition analogue signals in the range 0..5V can be measured.



8. Firmware

8.1. Overview

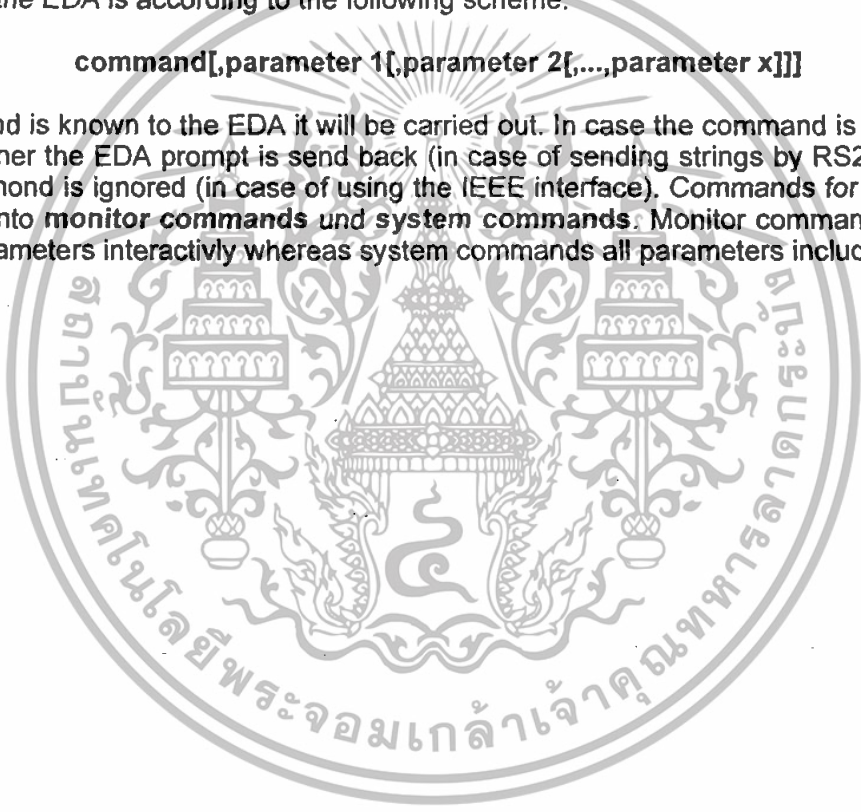
Before delivery two programs are installed at the EDA: an operating system on page 0 and an data transfer program on page 1. The operating system enables driving external hardware (ENV). The demo program makes substantial use of subroutines from the operating system. The data transfer program (URLADER.hex) enables loading of user defined programs. Source code of both programs is contained in the delivered software.

The communication between PC and EDA is enabled by RS232 or IEEE488 interface and performed with help of ASCII strings. Using a RS232 interface, the endsign of every string has to be 'CR'; using the IEEE interface, the endsign has to be 'LF'.

A string for the EDA is according to the following scheme:

command[,parameter 1[,parameter 2[,...,parameter x]]]

If a command is known to the EDA it will be carried out. In case the command is not known to the EDA either the EDA prompt is send back (in case of sending strings by RS232 interface) or the command is ignored (in case of using the IEEE interface). Commands for the EDA can be divided into **monitor commands** und **system commands**. Monitor commands partly ask for their parameters interactively whereas system commands all parameters include.





COMPETENCE
IN PRECISION

8.2. List of Commands

8.2.1. Monitor Commands

8.2.1.1. Overview

CMD	short description
-----	-------------------

dc ^{*)}	- display code memory
de ^{*)}	- display extended data memory
di ^{*)}	- display internal data memory
dx ^{*)}	- display external data memory
df ^{*)}	- display FLASH-EPROM memory
dm ^{*)}	- display EEPROM memory
ei ^{*)}	- edit internal data memory
ex ^{*)}	- edit external data memory
ee ^{*)}	- edit extended data memory
fi ^{*)}	- fill internal data memory
fx ^{*)}	- fill external data memory
wf ^{*)}	- write FLASH-EPROM
s ^{*)}	- display available EDA commands
co ^{*)}	- compare FLASH-EPROM
mtst ^{*)}	- memory test
baud ^{*)}	- set baud rate
ver	- display version
sh ^{*)}	- HEX-file output
q ^{*)}	- quit
fdel ^{*)}	- delete FLASH-EPROM
go ^{*)}	- start program
help ^{*)}	- display help on command

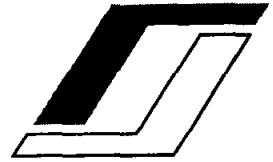
^{*)} This commands are available for RS232 only!

8.2.1.2. Command 'dc'

Command string: dc,xxxx,nnnn (RS232)

Answer: memory listing

Lists nnnn bytes starting from code memory address xxxx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.



8.2.1.3. Command 'de'

Command string: de,xxxx,nnnn (RS232)

Answer: memory listing

Lists nnnn bytes starting from extended data memory address xxxx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.

8.2.1.4. Command 'di'

Command string: di,xxxx,nnnn (RS232)

Answer: memory listing

Lists nnnn bytes starting from internal data memory address xxxx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.

8.2.1.5. Command 'dx'

Command string: dx,xxxx,nnnn (RS232)

Answer: memory listing

Lists nnnn bytes starting from external code memory address xxxx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.

8.2.1.6. Command 'df'

Command string: df,xxxx,nnnn (RS232)

Answer: memory listing

Lists nnnn bytes starting from the opposite side of FLASH-EPROM memory address xxxx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.

8.2.1.7. Command 'dm'

Command string: dm,xx,nn (RS232)

Answer: momory listing

Lists nn bytes starting from EEPROM address xx as a hex dump. Parameters have to be hexadecimal.



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.1.8. Command 'ei'

Command string: ei (RS232)

Answer: dialog

Enables editing of internal data memory. Necessary parameters are questioned interactiv.

8.2.1.9. Command 'ex'

Command string: ex (RS232)

Answer: dialog

Enables editing of external data memory. Necessary parameters are questioned interactiv.

8.2.1.10. Command 'ee'

Command string: ee (RS232)

Answer: dialog

Enables editing of extended data memory. Memory can be adressed by setting Pin 77 (P4.4) during reading to low. This memory is not used by the demoprogram.

8.2.1.11. Command 'fi'

Command string: fi (RS232)

Answer: dialog

Fills the internal data memory with a byte. Necessary parameters are questioned interactively..

8.2.1.12. Command 'fx'

Command string: fx (RS232)

Answer: dialog

Fills the external data memory with a byte. Necessary parameters are questioned interactively..

8.2.1.13. Command 'wf'

Command string: wf (RS232)

Answer: dialog

Writes a byte to the opposite side of the FLASH-EPROM. Necessary parameters are questioned interactively.



8.2.1.14. Command 's'

Command string: s (RS232)

Answer: List of Commands

Lists every command of the EDA

8.2.1.15. Command 'co'

Command string: co (RS232)

Answer: Differences

Entire code memory is compared with the opposite side of FLASH-EPROM. Any differences are listed with memory address.

8.2.1.16. Command 'mtst'

Command string: mtst (RS232)

Answer: none

Through a part of external code memory is for a specified byte. Any different byte will be displayed.

8.2.1.17. Command 'baud'

Command string: baud,n (RS232)

Answer: none

Switches the EDA to a different transmission rate. Changings are valid immediatly and permantly (changes are saved to EEPROM.)

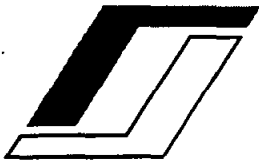
- n = 0 - 2400
- = 1 - 4800
- = 2 - 9600
- = 3 - 19200

8.2.1.18. Command 'ver'

Command string: ver (RS232,IEEE)

Answer: version,vnumber,createdate,createtime

Answer string contains software version of demo program.



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.1.19. Command 'sh'

Command string: sh (RS232)

Answer: Hexfile

Entire memory of opposite FLASH-Side is send over RS232 as Intel-Hexfile.

8.2.1.20. Command 'q'

Command string: q (RS232)

Answer: none

Switches from current side of FLASH EPROM to the opposite side and starts program from address 0x0000. If there is none, the command is ignored.

8.2.1.21. Command 'fdel'

Command string: fdel (RS232)

Answer: dialog

The command deletes the opposite side of FLASH-EPROM.

8.2.1.22. Command 'go'

Command string: go (RS232)

Answer: none

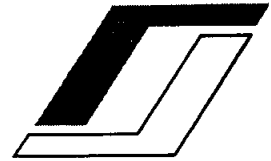
Starts program from address 0x0000. If there is none, the command is ignored.

8.2.1.23. Command 'help'

Command string: help,cmd (RS232)

Answer: helptext

Displays short helptext on the command. By sending the string 'help' without further parameter, a listing of all commands with short helptext will be displayed.

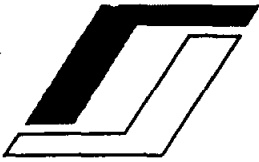


8.2.2. System Commands

8.2.2.1. Overview

CMD	short description
start	- starts user selected function
stop	- stops user selected function
M	- status
cset	- activates / deactivates channel
ke	- switches on every activated channel
ka	- switches off every activated channel
set	- sets selected DAC-channel to the specified value
rk	- voltage measurement
rkz ⁾	- cyclic voltage measurement
setall	- sets all DAC-channel to the specified value
save	- saves parameter to EEPROM
setdr	- sets parameter for function 'triangle'
setsp	- sets parameter for function 'jump'
setsi	- sets parameter for function 'sinus'
cl	- deletes selected function from selected channel
amt ⁾	- sets up measurement range
setk	- switches on / off the desired channel
setc	- sets measurement range of selected ADC-channel
setcc	- sets measurement range of all ADC-channel
dp	- writes the digital outputs directly
rch	- reads parameter of one channel
rcha ⁾	- reads parameter of every channel
sp	- reads measurement range of ADC-converter
measure	- reading of every ADC-channel
ERR?	- reads error occurred at last
as	- writes active autostart channels to EDA
as?	- reads active autostart channels

⁾ These commands are available for RS232 only!



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.2.2. Command 'start'

Command string: start[,ch] (RS232,IEEE)

Answer: none

Startes defined function on channel ch with parameters saved onto the EDA or parameters sended before. By sending the command without further parameter all channel will be started.

8.2.2.3. Command 'stop'

Command string: stop[,ch] (RS232,IEEE)

Answer: none

The function output on channel ch is stopped and in case of using without parameter all channels will be stopped.

8.2.2.4. Command 'M'

Command string: M (RS232,IEEE)

Answer: EDA2,xx,sh

This command asks for an identification of the current interface. It enables to determine the presence of the EDA. The parameter xx send back by the EDA includes status information:

bit 0 = 1 atleast onto one channel parameter are send to

The parameter sh contains the position of switch S1

- 0 - position 1
- 1 - position 2

8.2.2.5. Command 'cset'

Command string: cset,ch,ea (RS232,IEEE)

Answer: none

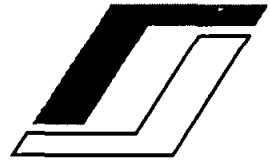
The channel specified with nr is activated or inactivated.

- Ea = 0 - on
- 1 - off

To activate the changes made the command ke has to be send too. The activation is only meant to switch the digital outputs.

8.2.2.6. Command 'ke'

Command string: ke (RS232,IEEE)



Answer: none

Switches all channels on which previously were switched off ka.

8.2.2.7. Command 'ka'

Command string: ka (RS232,IEEE)

Answer: none

Switches all channels off

8.2.2.8. Command 'set'

Command string: set,ch,wert (RS232,IEEE)

Answer: none

Sets the DAC-channel specified by ch to wert. Values which exceed the range limits are corrected automaticly (ch=3,wert=0).

8.2.2.9. Command 'rk'

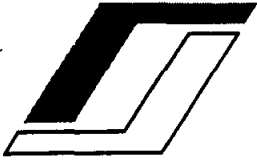
Command string : rk,ch,br (RS232,IEEE)

Answer: rk,ch,wert

Sends back the value measured by ADC-channels ch. The second parameter describes the measurement range:

- br = 0 - 0..10V
- = 1 - 0..5V
- = 2 - +/-10V
- = 3 - +/-5V

If the values exceed the measurement range the command is not executed. Sending the command ERR? the last error can be traced back.



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.2.10. Command 'rkz'

Command string: rkz,ch,br (RS232)

Answer: rk,ch,wert

Similar to rk, but cyclic. The measurement range can be specified by sending the command amt. This command can only be interrupted by pushing a key or reset. Sending the command ERR? the last error can be traced back.

8.2.2.11. Command 'setall'

Command string: setall,k0,k1,k2,k3 (RS232,IEEE)

Answer: none

All DAC-channels are set to the specified values. There is no check for valid inputs.

8.2.2.12. Command 'save'

Command string: save (RS232,IEEE)

Answer: saveok

Saves the parameter of standard function to EEPROM.

8.2.2.13. Command 'setdr'

**Command string:
setdr,ch,off,amp,fre,pkt,anz,sangle,apex, divider,syn (RS232,IEEE)**

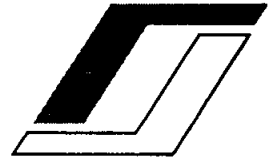
Answer: none

Sends to channel ch the function TRIANGLE with parameters:

off	-	offset
amp	-	amplitude
fre	-	frequency
pkt	-	points/periode
anz	-	Number of periodes, 0 = infinity
sangle	-	initial angle
apex	-	vertex
divider	-	frequency divider
syn	-	synchronisation

The function can be started by sending start[,ch].

8.2.2.14. Command 'setsp'



setsp, ch, off, amp, fre, pkt, anz, sangle, apex, divider, syn (RS232, IEEE)

Answer: none

Sends to channel chanal **ch** the function JUMP with parameters:

- off** - offset
- amp** - amplitude
- fre** - frequency
- pkt** - 2
- anz** - Number of periodes, 0 = infinity
- sangle** - initial angle
- apex** - not used
- divider** - frequency divider
- syn** - synchronisation

The function can be started by sending **start[,ch]**.

8.2.2.15. Command 'setsi'

Command string:

setsi, ch, off, amp, fre, pkt, anz, sangle, apex, divider, syn (RS232, IEEE)

Answer: none

Sends to channel chanal **ch** the function SINUS with parameters:

- off** - offset
- amp** - amplitude
- fre** - frequency
- pkt** - points/periode
- anz** - Number of periodes, 0 = infinity
- sangle** - initial angle
- apex** - not used
- divider** - frequency divider
- syn** - synchronisation

The function can be started by sending **start[,ch]**.



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.2.16. Command 'cl'

Command string: cl,ch (RS232,IEEE)

Answer: none

Deletes the function specified on channel ch.

8.2.2.17. Command 'amt'

Command string: amt,time (RS232)

Answer: none

This command set the measurement interval of command rkz, range: 0..255 (corresponding 0..25s)..

8.2.2.18. Command 'setk'

Command string: setk,ch,ea (RS232,IEEE)

Answer: none

Switches the channel ch on (1) or off (0). Only the digital outputs and the corresponding LED are affected. In case of ch > 7 all channels and LED are switched off.

8.2.2.19. Command 'setc'

Command string: setc,ch,range (RS232,IEEE) !!! only EDA2/3 !!!

Answer: none

Set measurement range of channel ch.

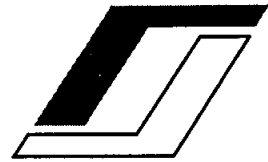
Range	=	0 - 0...10V
	=	1 - 0...5V
	=	2 - ± 10V
	=	3 - ± 5V

8.2.2.20. Command 'setcc'

Command string: setcc,rng0,rng1... (RS232,IEEE) !!! only EDA2/3 !!!

Answer: none

Sets measurement range of every ADC-channel (rng definition setc).



8.2.2.21. Command 'dp'

Command string: dp,xx (RS232,IEEE)

Answer: none

Sets the digital outputs to (0x00..0xff). LEDs are not affected.

8.2.2.22. Command 'rch'

Command string: rch,ch (RS232,IEEE)

Answer: rch,ch,off,amp, fre,pkt,anz,sangle,apex,divider,syn

Reads parameter of channel ch using the RS232 interface. The order of the parameters agrees with **setsi, setdr, setsp**.

8.2.2.23. Command 'rcha'

Command string: rcha (RS232)

Answer: rch,0..3,...

Reads out parameter of all channel using the RS232 interface.

8.2.2.24. Command 'sp'

Command string: sp (RS232)

!!! only EDA2/3 !!!

Answer: sc,s0,s1,...,s7

Reads out previously specified measurement range of AD-converter.

8.2.2.25. Command 'measure'

Command string: measure (RS232,IEEE)

Answer: aw,wert0,wert1,...,wert7

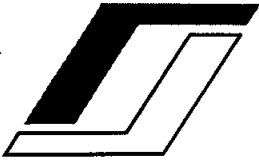
Reads out measurements of all ADC-channel.

8.2.2.26. Command 'ERR?'

Command string : ERR? (RS232,IEEE)

Answer: ERROR,"last error"

Sends back the last error encountered. The error buffer is deleted afterwards.



COMPETENCE
IN PRECISION

8.2.2.27. Command 'as'

Command string : as,ch,e/a (RS232,IEEE)

Answer: none

The autostart channel are send to the EDA. Each channel has to be activated/deactivated.
The command:

as,1,1

activates channel 2 of the EDA for autostart

as,1,0

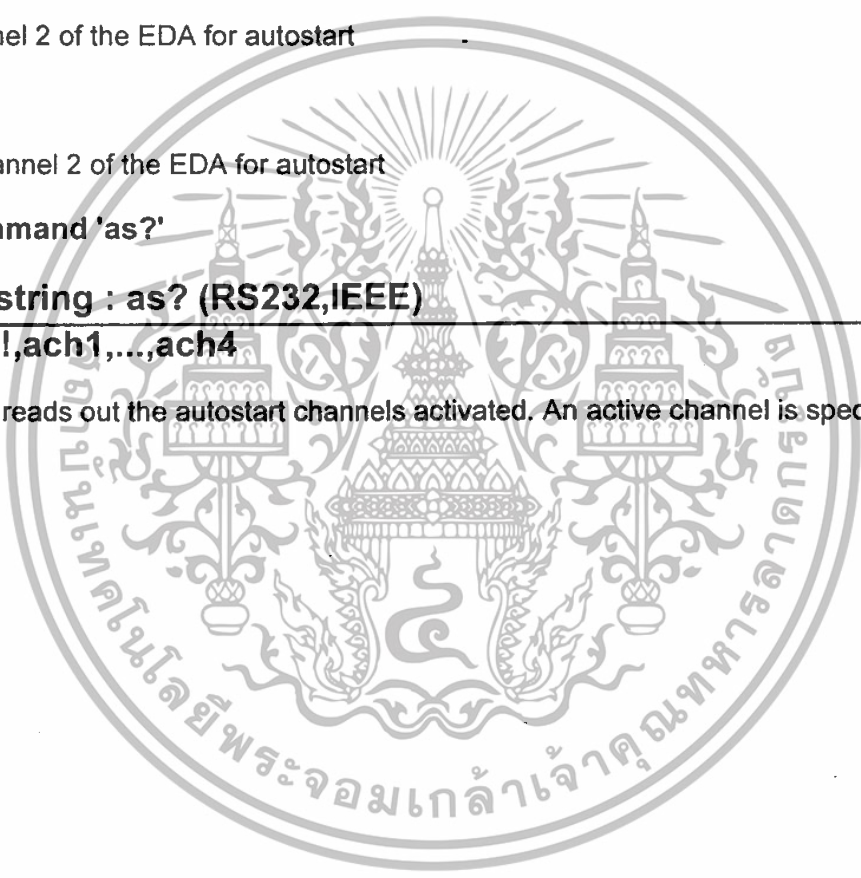
deactivates channel 2 of the EDA for autostart

8.2.2.28. Command 'as?'

Command string : as? (RS232,IEEE)

Answer: as!,ach1,...,ach4

This command reads out the autostart channels activated. An active channel is specified by parameter "1".





Index

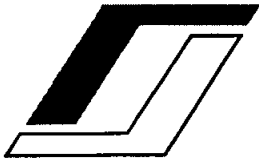
Commands

Monitor Commands

baud	35
co	35
dc	32
de	33
df	33
di	33
dm	33
dx	33
ee	34
ei	34
ex	34
fdel	36
fi	34
fx	34
go	36
help	36
mtst	35
q	36
s	35
sh	36
ver	35
wf	34

System Commands

amt	42
as	44
as?	44
cl	42
cset	38
dp	43
ERR?	43
ka	39
ke	39
M	38
rch	43
rcha	43
rk	39
rkz	40
save	40
set	39
setall	40
setc	42
setcc	42
setdr	40
setk	42
setsi	41
setsp	41
sp	43



**COMPETENCE
IN PRECISION**

Limits	18
Number of periods	17
Offset	16
Read	17
read all channels	17
read from file	18
Resolution	16
save to file	18
Sinus	16
start	17
start all channels	18
stop	17
stop all channels	18
Triangle	16
Vertex	17
write	17
write all channels	17
write data to EEPROM	18
System Requirements	10
Technical Data	6
Terminal	
Buttons	
delete	20
file 1, file 2	20
Loading Programms	20
Voltage/Position	
Button Transmit All	14
Measuring Interval	14
Pick Up Auto Output	14
Set Voltage	14
Sliding Controls	14
Switch Channels	14
Voltage Display	14
Voltage Setting	14

