



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ศึกษาและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดบรรจุก๊าซไอโอดีนกับรูบิเดียมเพื่อควบคุม
ความถี่ของเลเซอร์ให้มีความเสถียรด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

Investigation and developing of a temperature controller of iodine and rubidium
tubes for laser stabilization by using thermoelectric module

ประธาน บวรณศิริ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

600268518

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัย

จากงบประมาณเงินรายได้ส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ศึกษาและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดบรรจุก๊าซไอโอดีนกับรูบิเดียมเพื่อควบคุม
ความถี่ของเลเซอร์ให้มีความเสถียรด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ส่วนงานวิชาการ

ประจำปีงบประมาณ 2559.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย.....1.....ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร.ประชน บวรณศิริ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์.....

.....

.....

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยได้ทำการทดลองให้อุณหภูมิแก๊สหลอดไอโอดีนเซลล์ที่มีขนาด 10 เซนติเมตร
โดยใช้การกระตุ้นจากแสงเลเซอร์ที่เป็น นีโอดิเมียมแย็ค เพื่อทำการสังเกต ต่อมาได้ทำการให้
ความถี่ที่ความเสถียร โดยทำการถือช่วงความถี่ที่ 563 THz โดยทำการวัดความถี่ของไอโอดีนที่
R(56)32-0 ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทดลอง ซึ่งจะพบว่าไอโอดีนเซลล์ที่มีการ
ควบคุมอุณหภูมินั้นจะมีความเสถียรอยู่ที่ 10^{-9}

คำสำคัญ : Laser stabilized, iodine cell, Nd:YAG laser, frequency metrology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Investigation and developing of a temperature controller of iodine and rubidium tubes for laser stabilization by using thermoelectric module

Researcher: Ast.Dr.Prathan Buranasiri.....

Faculty: Science.....**Department:** Physics.....

ABSTRACT

In this research, the temperature characteristics of a 10 cm long iodine cell used in diode-pumped Nd:YAG laser system has been investigated. Here, the laser system were frequency stabilized by locking their frequency-doubled output at 563 THz. The absolute frequency measurement of the a10 hyperfine components of molecular iodine R(56) 32-0 line with effect to various temperatures is reported. With the iodine cell temperature control, the output frequency is tuned in the range of standard frequency at 563.2602235 THz with about 10^{-9} of stability.

Keywords: Laser stabilized, iodine cell, Nd:YAG lasers, frequency metrology

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้ทำวิจัยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนการช่วยเหลือและเอื้ออำนวยในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ นักศึกษาของห้องปฏิบัติการฟोटอลโดนามิกส์ทุกคนที่เป็นส่วนหนึ่งของการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ หน่วยงานที่ดูแลเรื่องโครงการวิจัย (Research Project) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

นาย ประชาน บุรณศิริ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	i
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญภาพ.....	vi
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักการ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	12
3.2 วิธีการควบคุมอุณหภูมิตลอดไอ โอดีนที่ทำให้ความถี่เสถียรในระบบการทดลอง..	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	21
4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของแสงเลเซอร์ที่ช่วงความยาว 532 นาโนเมตร	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก.....	26



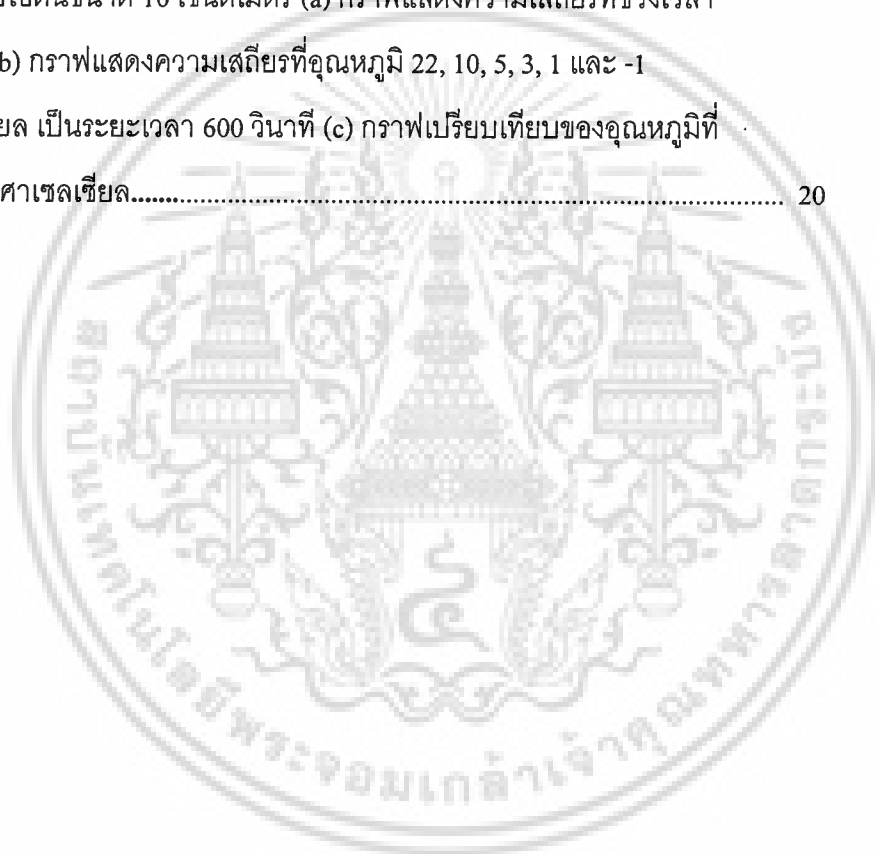
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของคลื่น	4
2.2 ปราบกฎการณ์ซีเบ็ค.....	5
2.3 ปราบกฎการณ์เพลเทียร์.....	5
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว.....	7
2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น.....	7
3.1 เลเซอร์ไดโอด.....	12
3.2 เครื่องควบคุมเลเซอร์ไดโอด.....	13
3.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้คุมเลเซอร์ไดโอด.....	13
3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ.....	14
3.5 มิเตอร์วัดอุณหภูมิ.....	14
3.6 เครื่องวัดกำลังของแสงเลเซอร์.....	15
3.7 ภาพฐานอลูมิเนียมที่ทำการควบคุมอุณหภูมิของหลอดไอโอดีนกับรูบี้เดี่ยว.....	18
3.8 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย PBS: Polarization beam splitter, PD: Photo-detector, AOM: Acousto-optic modulator, EOM: Electro-optic modulator, TEC: Temperature electric control , $\lambda/2$: Half-wave plate, M: Mirror, LO: local oscillator.....	19
3.9 ภาพแสดงการดูคลื่นหลอดไอโอดีนเซลล์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 532.245036 นาโนเมตร.....	20

ตารางสาบัพัญญาภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่นของหลอดไอไอดีน 10 เซนติเมตร ที่มีอุณหภูมิต่างกัน (a) 22, (b) 3 และ (c) -1 องศาเซลเซียส.....	22
4.2 กราฟแสดงค่าความเสถียรที่ได้จากการคำนวณของ Allan standard deviation ของหลอดไอไอดีนขนาด 10 เซนติเมตร (a) กราฟแสดงค่าความเสถียรที่ช่วงเวลา 100 วินาที (b) กราฟแสดงค่าความเสถียรที่อุณหภูมิ 22, 10, 5, 3, 1 และ -1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 600 วินาที (c) กราฟเปรียบเทียบของอุณหภูมิที่ 3 และ -1 องศาเซลเซียส.....	20



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้มีความสนใจในการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดไอโอดีนและหลอดรูบี้เดี่ยว เพื่อที่จะประยุกต์ใช้ในการทดลองในระบบของเลเซอร์เพื่อทำให้ระบบเลเซอร์นั้นมีความถี่เสถียรมากยิ่งขึ้น ซึ่งการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดไอโอดีนและหลอดรูบี้เดี่ยว ได้มีการนำแผ่นเพลทเทียร์มาช่วยในการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะต้องมีการใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องจากพื้นฐานวิชาต่างๆ เช่น องค์ประกอบของเลเซอร์ การถ่ายเทความร้อน ไฟฟ้า การควบคุมอัตโนมัติและบทความทางวิชาการต่างๆ ที่มีผู้วิจัยได้นำเสนอโดยเน้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดชนิด Nd:YAG Laser ที่ช่วงความยาวคลื่น 1064 และ 532 นาโนเมตร เพื่อพัฒนาเป็นมาตรฐานความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยทำให้เสถียรโดยใช้หลอดไอโอดีนเซลล์ ($^{127}\text{I}_2$ R(56) 32-0) (no 1110) โดยการศึกษาทำการศึกษานี้ได้ทำการศึกษารามิเตอร์ชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความยาวคลื่นเพื่อให้สามารถปรับจูนความยาวคลื่นได้ครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นของหลอดไอโอดีนเซลล์ ($^{127}\text{I}_2$) ได้แก่ ปริมาณกระแสไฟฟ้า (Current) อุณหภูมิของเลเซอร์คริสตัล (Temperature Laser Crystal) และ อุณหภูมิของดับเบิลคริสตัล (Temperature Doubling Crystal) จากนั้นยังทำให้ความยาวคลื่นเสถียรโดยใช้หลอดไอโอดีนเซลล์ และทำการสังเกตลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของไอโอดีนเซลล์ ($^{127}\text{I}_2$) ที่ a₁₀ R(56) 32-0 เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานความยาวที่ระบุไว้ในรายงานของคณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee for Weights and Measures, CIPM)

จากอดีตที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาความยาวคลื่นมาตรฐานในช่วงความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร เพื่อเป็นมาตรฐาน โดยใช้หลักการของการดูดกลืนสเปกตรัมของไอโอดีน ($^{127}\text{I}_2$) โดยชั้นระดับพลังงานที่ใช้เป็นมาตรฐานความยาวคลื่นตามรายงานคณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee for Weights and Measures, CIPM) กำหนดคือ ชั้นระดับพลังงานของไอโอดีน ($^{127}\text{I}_2$) ที่ a₁₀ R(56) 32-0 มีความยาวคลื่นเท่ากับ 532.245036104 นาโนเมตร [1-3] จากเอกสารอ้างอิงที่กล่าวถึง[4-7] เป็นระบบเสถียรความยาวคลื่นด้วยไอโอดีน ($^{127}\text{I}_2$) ที่ใช้เลเซอร์ไดโอดแบบ Nd:YAG โดยลักษณะเลเซอร์ไดโอดชนิดดังกล่าวจะเป็นระบบที่มีขนาดเล็กไม่ยุ่งยาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาพารามิเตอร์ของไดโอดเลเซอร์ชนิด Nd:YAG เพื่อสามารถนำไปพัฒนาระบบเสถียรความยาวคลื่นด้วยไอโอดีน ($^{127}\text{I}_2$) ที่ a_{10} R(56) 32-0 เนื่องจากไดโอดเลเซอร์แบบ Nd:YAG เป็นเลเซอร์ไดโอดขนาดกะทัดรัด ดังนั้นจึงมีความสามารถพัฒนาเป็นมาตรฐานความยาวคลื่นที่มีขนาดกะทัดรัดเช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของหลอดบรรจุก๊าซให้มีอุณหภูมิต่ำ
2. เพื่อนำไปใช้ในระบบเลเซอร์ที่ต้องการทำให้ความถี่ของระบบเลเซอร์นั้นมีความเสถียร โดยทำการควบคุมอุณหภูมิที่หลอดบรรจุก๊าซให้มีค่าคงที่และสามารถทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันภายในหลอดบรรจุก๊าซ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ศึกษาและออกแบบระบบให้เหมาะสมกับหลอดบรรจุก๊าซเพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิ
3. ทำการวัดและวิเคราะห์อุณหภูมิของหลอดบรรจุก๊าซที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
4. ทำการวัดค่าความถี่ของระบบเลเซอร์ที่มีการนำหลอดบรรจุก๊าซ โดยทำการควบคุมอุณหภูมิ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของหลอดบรรจุก๊าซทั้งสองชนิด เมื่อทำการให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาการทำงานของเลเซอร์เมื่อยิงผ่านหลอดบรรจุก๊าซทั้งสองชนิด
3. ออกแบบการทดลองในระบบของแสงเลเซอร์
4. ออกแบบฐานระบายความร้อนของแผ่นเพลเทียร์และสร้างชุดเครื่องมือในการจับหลอดบรรจุก๊าซ
5. ทำการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิที่ใช้แผ่นเพลเทียร์ด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์
 - หาค่าอุณหภูมิของแผ่นเพลเทียร์ที่เมื่ออยู่บนฐานระบายความร้อนที่ด้านเย็นและด้านร้อน
 - ตรวจสอบหาค่าอุณหภูมิเมื่อแผ่นเพลเทียร์สัมผัสกับหลอดบรรจุก๊าซ ในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบหาค่าความถี่ของแสงในระบบเมื่อผ่านหลอดบรรจุก๊าซที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยวงจรรีเลคทรอนิกส์

6. ทำการบันทึกเก็บค่าอุณหภูมิที่ทำการควบคุมด้วยวงจรรีเลคทรอนิกส์

7. นำชุดควบคุมอุณหภูมิที่ได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่เหมาะสม มาทำการประกอบรวมเข้ากับหลอดบรรจุก๊าซทั้งสองชนิด

8. นำชุดควบคุมอุณหภูมิของหลอดบรรจุก๊าซ มาทำการยิงเลเซอร์เพื่อดูความเสถียรของความถี่ ในช่วงความถี่

9. ทำการบันทึกผลความถี่ของแสงเลเซอร์ เมื่อทำการยิงผ่านหลอดบรรจุก๊าซทั้งสองชนิด

10. ทำการสรุปผล และจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงาน	ระบุรายละเอียดให้ชัดเจน	จำนวน	ปีที่คาดว่าจะสำเร็จ
1. การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ			
■ การประชุม / สัมมนา ระดับชาติ (National Conference)	เข้าร่วมเสนอผลงานของสถาบันฯ	1	2560

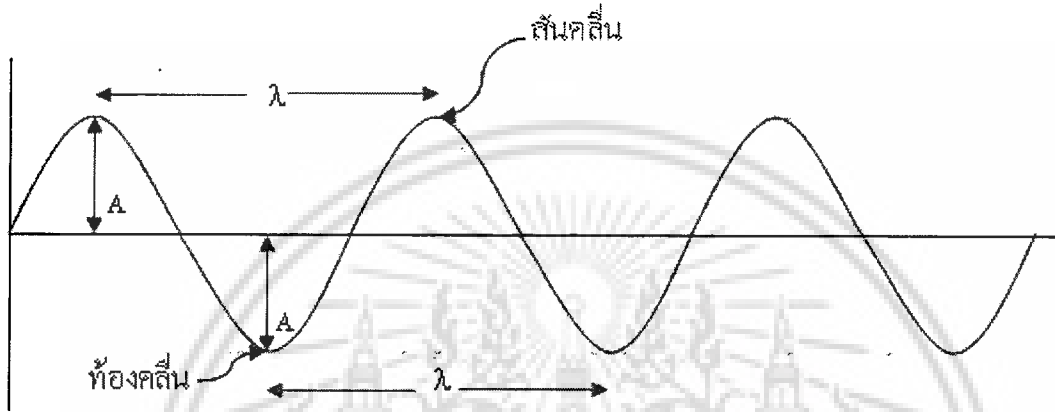
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักการ

ความยาวคลื่น (Wave Length ; λ) หมายถึง ความยาวของคลื่น 1 คลื่น เป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดสองจุดที่สั้นที่สุดบนคลื่นที่เฟสตรงกัน ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตร (m)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของคลื่น

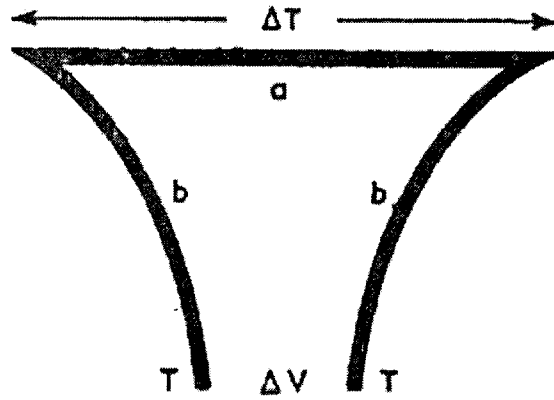
ซึ่งในการวัดทางวิทยาศาสตร์นี้ยังใช้ความยาวคลื่นที่เป็นมาตรฐานในการวัดในระดับนานาชาติอีกด้วย ดังนั้นห้องปฏิบัติการความยาวคลื่นของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีหน้าที่สอบเทียบเครื่องมือวัดด้านความยาวคลื่นและมีเป้าหมายดังนี้

1. รักษามาตรฐานความยาวคลื่น
2. พัฒนางานด้านการวัดให้มีขีดความสามารถสูงสุด
3. สามารถถ่ายทอดค่าความยาวคลื่นมาตรฐานไปสู่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบอื่นๆ และภาคอุตสาหกรรมต่อไป

เทอร์โมอิเล็กทริก

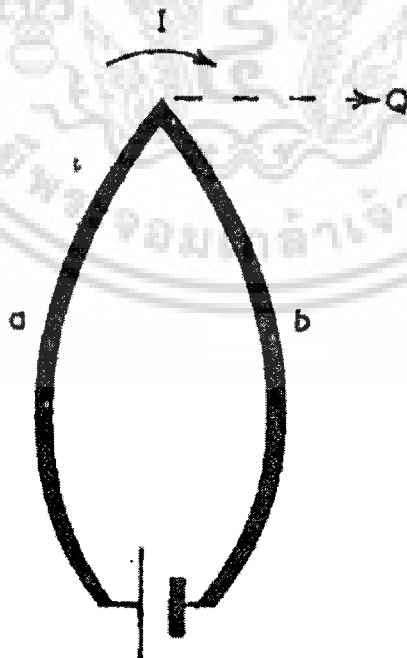
อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและอุณหภูมิ มีหลักการคือการผันไฟฟ้าเป็นความร้อนและความเย็น หรือมีการผันจากความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเอาปลายของสารกึ่งตัวนำต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อกัน เมื่อเชื่อมทั้งสองนั้นถูกกระตุ้นด้วยความร้อนและความเย็น จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในระบบ พบว่าหากอุณหภูมิของจุดเชื่อมต่อทั้งสองข้างมีค่าแตกต่างกันมากเท่าไร การเกิดความร้อนและความเย็น ก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยขึ้นอยู่กับค่าการให้กระแสไฟฟ้ากับแผ่นเพลเทียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ปราบกฎการณชีเบ็ค [1]

ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas Seebeck พบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้น ที่ด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้ง 2 นี้ตามรูปที่ 2 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เปลี่ยนแปลง ได้ตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลต์เตจ” (Seebeck Voltage) ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรถักขณะเดียวกันที่ซีเบ็คสร้างขึ้น โดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัทอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนีจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อที่แตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและอีกข้างหนึ่งจะเย็นลงวงจรการทดลองของเพลเทียร์เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 2.3 ปราบกฎการเพลเทียร์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์นี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric Refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of Reversible Heat Absorption, Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านของกระแส I ผ่านรอยต่อ คือ

$$Q = \pi_{ab} I \quad (1)$$

โดยที่ π_{ab} คือ สัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ของรอยต่อ

ซึ่งจะพบว่าสัมประสิทธิ์ของการผันไฟฟ้าจากความร้อนมีความสัมพันธ์กันกับความสัมพันธ์ของ เคลวิน (Kelvin Relationships)

$$Q_{ab} = \frac{\pi_{ab}}{T} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 เป็นจริงสำหรับวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนจำนวนมาก และใช้ได้กับทุกวัสดุ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการประยุกต์ทางการผันไฟฟ้าจากความร้อน

ให้สังเกตว่า ทั้งสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คและสัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ถูกนิยามขึ้นในรูปของสมบัติต่างๆ

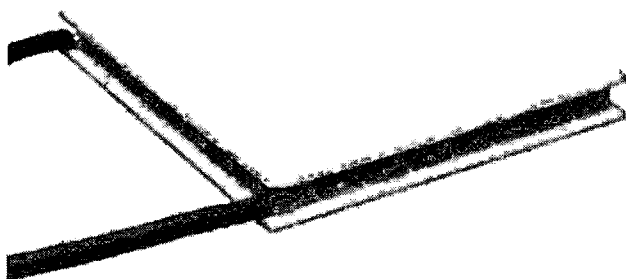
ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถแบ่งออกตามลักษณะได้ 2 แบบคือ

1. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบขั้นเดียว (Single Stage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการใช้งานไม่สูงมาก ซึ่งมีค่าประมาณ 67 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการใช้งานไม่สูงมาก ซึ่งมีค่าประมาณ 67 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิมิฉะนั้นที่ไม่มีภาระทางความร้อน ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายรูปแบบทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งานเช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดัน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถสรุปลักษณะและสมบัติได้ดังนี้

- ขนาดพื้นที่ผิวเซรามิก 1.8 x 3.4 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
- ขนาดความสูงตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร ถึง 5.8 มิลลิเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 ถึง 125 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 60 แอมป์
- ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 ถึง 15.4 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

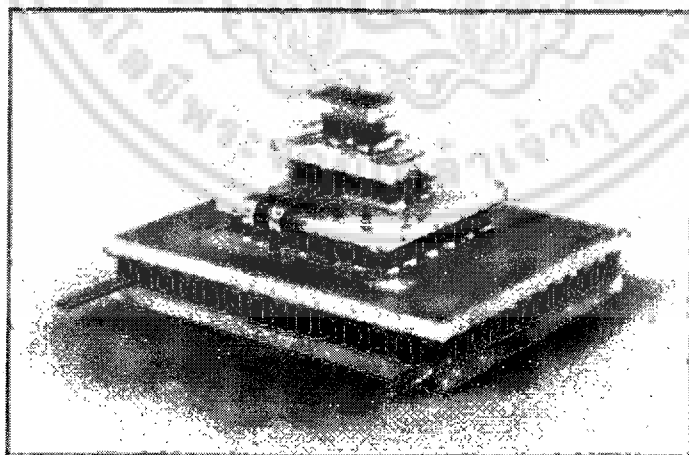


รูปที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single stage module) [2]

2. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการต่อตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ลักษณะและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นที่สำคัญคือ

- พื้นที่ผิวด้านเย็นมีขนาดตั้งแต่ 3.2 x 3.2 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ผิวด้านร้อนขนาดตั้งแต่ 3.8 x 3.8 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
- ขนาดความสูงตั้งแต่ 3.8 มิลลิเมตร ถึง 21.4 มิลลิเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.39 ถึง 59 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.7 ถึง 9.5 แอมป์
- ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 14 โวลต์

ซึ่งจำนวนชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น มีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น ถึง 6 ชั้น



รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อน เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายถ่ายเทและ เปลี่ยนพลังงานความร้อน ซึ่งอยู่ในขอบเขตของกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของแผ่น เพลเทียร์ที่ว่า “พลังงานต่างๆ ไม่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกทำลายได้แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งของพลังงานไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้” และ “ไม่มีกระบวนการใดๆ ที่จะเคลื่อนย้ายถ่ายเทพลังงานจากอุณหภูมิต่ำกว่า ไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่า” วิทยาศาสตร์ทางการถ่ายเทความร้อนกล่าวถึงหลักการที่ว่า ความร้อนจะเคลื่อนที่จากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำ กว่าซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับอัตราการ ถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญ มากต่อการออกแบบเครื่องมืออื่นๆ การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีต่างๆ ที่กล่าวแล้วแต่ละวิธีของการกระบวนการถ่ายเทความร้อนอาจจะแบ่งแยกออกเป็นประเภทได้ตามสภาวะการถ่ายเทพื้นฐานภายนอกและจำนวนมิติที่ เกิดการถ่ายเท

1. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady State) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเคลื่อน ไหลของความร้อนในระบบหรือในกระบวนการไม่เปลี่ยนแปลงไปกับ เวลาที่เปลี่ยนไป เช่น เมื่อเวลาคงที่หรือเมื่อพิจารณาหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง อุณหภูมิที่จุดต่างๆ จะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady or Transient State) การถ่ายเท ความร้อนในสภาวะนี้เกิดขึ้นอุณหภูมิต่างๆ ในระบบเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนอุณหภูมิต่างๆ เปลี่ยนไปนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบ

3. การถ่ายเทความร้อนตามลักษณะพื้นฐานภายนอก (Configuration) การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้อาจเป็นไปตามรูปลักษณะทรงเรขาคณิตศาสตร์เช่น การถ่ายเทความร้อนของ วัตถุรูปแผ่นเรียบรูปทรงกระบอกรูปท่อและรูปแผ่นขนาน 4. การถ่ายเทความร้อนตามจำนวนมิติการถ่ายเท (Number of Dimension) การถ่ายเทความร้อนอาจมีทิศทางไปทางเดียวเรียกว่า การถ่ายเทความร้อนหนึ่งมิติเช่น การถ่ายเทความร้อนของท่อที่ฝังอยู่ใต้พื้นดิน หรือมีทิศทางไปสามทางเป็นการถ่ายเทความร้อนสามมิติเช่น การถ่ายเทความร้อนจากท่อที่ขึ้นออกมาจากคอกเป็นต้น

วิธีการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนหรือพลังงานความร้อนจะเคลื่อนย้ายถ่ายเทได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

แม้จะมีการแบ่งแยกวิธีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทความร้อนและการวิเคราะห์การเคลื่อนย้าย ถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 วิธีดังกล่าวแต่การถ่ายเทความร้อนส่วนมากในสภาพทั่วไปความร้อน จะไม่เคลื่อนย้ายโดยวิธีใดวิธีหนึ่งเพียงวิธีเดียวแต่จะถ่ายเทโดยหลายวิธีที่กล่าวมาพร้อมกันในการแก้ปัญหาจะพิจารณาถึงวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนย้ายถ่ายเทไปมากที่สุด เป็นวิธีการที่ความร้อนใช้

ในการถ่ายเทความร้อน โดยไม่คำนึงถึงวิธีการอื่นๆ ที่ความร้อนใช้ในการถ่ายเท แต่ปริมาณความร้อนที่ผ่านเทโดยวิธีนั้น ๆ น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหานั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ภายในตัวกลาง (ของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ) หรือ วัตถุเดียวกันหรือระหว่างตัวกลางที่ต่างกันแต่อยู่สัมผัสหรือติดต่อกันโดยตรง การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำนี้พลังงานภายในวัตถุจะถ่ายเทหรือเคลื่อนย้าย โดยการติดต่อโดยตรงของโมเลกุลและปราศจากการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของวัตถุนั้นๆ วัตถุแข็งที่บดแสงจะมีการเคลื่อนย้ายของความร้อน โดยวิธีการนำเพียงอย่างเดียวการเคลื่อนย้ายความร้อนของความร้อนในตัวกลางหรือวัตถุที่ไม่เป็นของแข็ง ส่วนมากจะเป็นไปแบบผสมกล่าวคือ ความร้อนจะเคลื่อนที่ถ่ายเทไปด้วยวิธีการนำ และการพาไปทั้งสองวิธี และบางลักษณะจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา เป็นกระบวนการถ่ายความร้อนระหว่างผิวของวัตถุแข็งกับของเหลว หรือก๊าซ กระบวนการถ่ายเทความร้อนไม่มีเฉพาะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุเพียงอย่างเดียวแต่มีองค์ประกอบอื่นๆ อีกที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการพานี้ เช่นลักษณะการเคลื่อนที่ของเหลวหรือก๊าซ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้ก็ให้ผลเหมือนกับถ่ายเทความร้อน โดยวิธีอื่นๆ คือมีการเคลื่อนย้ายพลังงานเกิดขึ้น และเคลื่อนย้ายไปตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง (Temperature Gradient) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพานี้เป็นกระบวนการที่สำคัญมากเพราะความร้อนจะถูกนำ พาไปด้วยพลังงานจะถูกสะสม และเคลื่อนย้ายด้วยวิธีต่างๆ ปนกันไป (Mixing Motion) การพาความร้อนจึงอาจแบ่งแยกออกเป็น ประเภทย่อยตามลักษณะต่างๆ

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนจากวัตถุที่มี อุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่วัตถุนั้นอยู่ห่างจากกัน และแม้ว่า ระยะห่างนั้น จะเป็นบริเวณสุญญากาศก็ตามการแผ่ความร้อนโดยทั่วไปหมายถึงกระบวนการถ่ายเทหรือ ส่งพลังงานออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการกระจายของคลื่นแม่เหล็กที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิและทำให้พลังงานเคลื่อนย้าย เรียกว่า การแผ่ความร้อน (Thermal Radiation) ซึ่งต่างกับการแผ่กระจายของแสง (Light Radiation) ที่ช่วงความยาวคลื่น (Wavelength) ต่างกัน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

นับตั้งแต่จุดกำเนิดวิทยาการทางด้านเลเซอร์จนถึงปัจจุบันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 ทศวรรษมาแล้ว และเนื่องจากการใช้งานของเลเซอร์นั้นมีหลากหลาย ดังนั้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นได้มีการพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วทั้งทางทฤษฎีและการนำไปประยุกต์ใช้งานของเลเซอร์ โดยจุดกำเนิดของทฤษฎีทางด้านเลเซอร์นั้นเริ่มมาจากการค้นพบทฤษฎีของ Einstein ในปี ค.ศ. 1917 ซึ่งค้นพบขบวนการปลดปล่อยพลังงานของแสงโดยการกระตุ้น (stimulated emission) และหลังจากนั้นในระหว่างทศวรรษ 1920, 1930 และ 1940 ได้มีการวิจัยและทดลองอย่างกว้างขวางในเรื่องฟิสิกส์อะตอมและโมเลกุล (Atomic and Molecular Physics) การค้นพบทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ทฤษฎีฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics) รวมถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เป็นพื้นฐานของการเกิดเลเซอร์ เช่น ความคิดที่เกี่ยวกับระบบของโมเลกุลหรืออะตอมนั้นสามารถที่จะถูกขยาย (Amplification) โดยลำแสง, ขบวนการเกิดประชากรผกผัน (Population inversion) ในชั้นระดับพลังงาน ฯลฯ

การพัฒนาทั้งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นได้มีมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งดูได้จากในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 นักฟิสิกส์ได้มีการพัฒนาทางด้านเรดาร์ (Radar) เพื่อใช้ในการทหาร และหลักจากนั้นก็พัฒนาทางเทคโนโลยีโดยใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ต่อเพื่อที่จะให้ได้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงขึ้น ซึ่งในปี 1950 นั้นได้มีคณะบุคคลกลุ่มหนึ่งทำงานอยู่ที่ Columbia University โดยหัวหน้ากลุ่มนั้นคือ Charles H. Townes พร้อมกับ Herbert Zeiger และ James P. Gordon สามารถผลิตคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น คือ ไมโครเวฟ (microwave) ซึ่งเกิดจากการขยายของการแผ่รังสี (amplified radiation) โดยวิธีของกระบวนการปลดปล่อยโดยการกระตุ้น (stimulated emission) ซึ่งในขณะนั้นเรียกว่า เมเซอร์ (MASER) โดยย่อมาจาก Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation หลังจากนั้นก็มีการผลิตเมเซอร์จากวัสดุ (materials) ต่างๆ และในปี ค.ศ. 1958 Charles H. Townes และ Authur L. Schawlow ได้นำหลักการของเมเซอร์ (การกระตุ้นอะตอมแบบถูกเร้า) มาประยุกต์ โดยได้เสนอว่าตามทฤษฎีนั้นน่าจะสามารถผลิตเมเซอร์ที่มีความถี่สูงขึ้นกว่าเดิม จนถึงย่านที่ตาเปล่ามองเห็นและให้ชื่อว่า Optical MASER และต่อมาก็ถูกเรียกว่าเลเซอร์ (LASER) ตามที่ Charles H. Townes และ Authur L. Schawlow ได้เสนอทฤษฎีและแนวคิดของเลเซอร์ ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายได้พยายามทำการวิจัยค้นคว้าเพื่อที่จะผลิตเลเซอร์ จนในที่สุดในปี ค.ศ.1960 Theodore H. Maiman แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาฮิวส์ (Hughes Research Laboratories) ในเมืองมาลิบู (Malibu) รัฐแคลิฟอร์เนียก็ประสบความสำเร็จในการผลิตเลเซอร์ซึ่งเป็นตัวแรกของโลกคือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาทางด้านเลเซอร์ชนิดต่างๆ อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne Laser), ไนโตรเจนเลเซอร์ (Nitrogen Laser), อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser), ดายเลเซอร์ (Dye Laser), เลเซอร์ของแข็งชนิดอื่นๆ และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

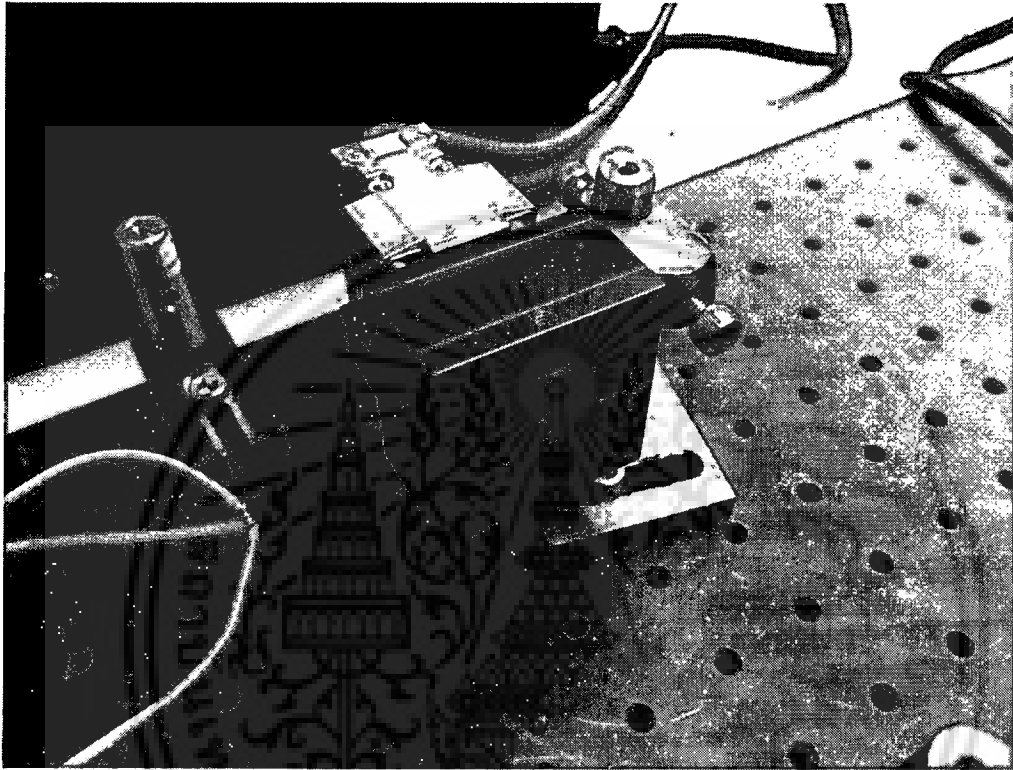
หนึ่งในเลเซอร์ของแข็ง (solid-state laser) ที่พัฒนาขึ้นมาก็คือ นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ (Neodymium YAG laser) ซึ่งให้ลำแสงขนาดเล็กความยาวคลื่น 1064 nm โดยเป็นเลเซอร์ของแข็งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ถูกค้นพบและพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1964 โดย J.E Geusic, H.M.Marcos และ L.G. Van Uitert ซึ่งพวกเขาได้ใช้สาร นีโอดีเมียม (Nd) โดปลงไป ในยิทเทียมอลูมิเนียมแกเร็ต (yttrium aluminium garnet, YAG) และได้ใช้ หลอดไฟแฟลชในการกระตุ้น (pumping) เพื่อให้เกิดเลเซอร์ เพราะค่าพลังงานที่จะกระตุ้นนีโอดีเมียมแยกได้นั้นจะต้องมีความยาวคลื่นประมาณ 808 นาโนเมตรแต่เลเซอร์ที่ได้จะเป็นพัลส์ (Pulse) ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้หลอดไฟแบบอาร์ค (Arc Lamp) ในการกระตุ้น ซึ่งจะได้เลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เราทำการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิขึ้นมาโดยทำการควบคุมด้วยคอลโทรลเลอร์ และมีการให้ความเย็นด้วยแผ่นเพลทเทียร์ ซึ่งในการควบคุมอุณหภูมินั้นอยู่ที่ประมาณ 5 ถึง 0 องศาเซลเซียส ในช่วงของอุณหภูมินี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดแต่ละชนิด ซึ่งมีผลต่อความถี่ในระบบของแสงเลเซอร์ ในการที่เรานำหลอดบรรจุก๊าซมาใช้ในระบบเลเซอร์นั้นเพื่อที่จะช่วยให้ความถี่ของแสงเลเซอร์ในระบบมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

บทที่ 3

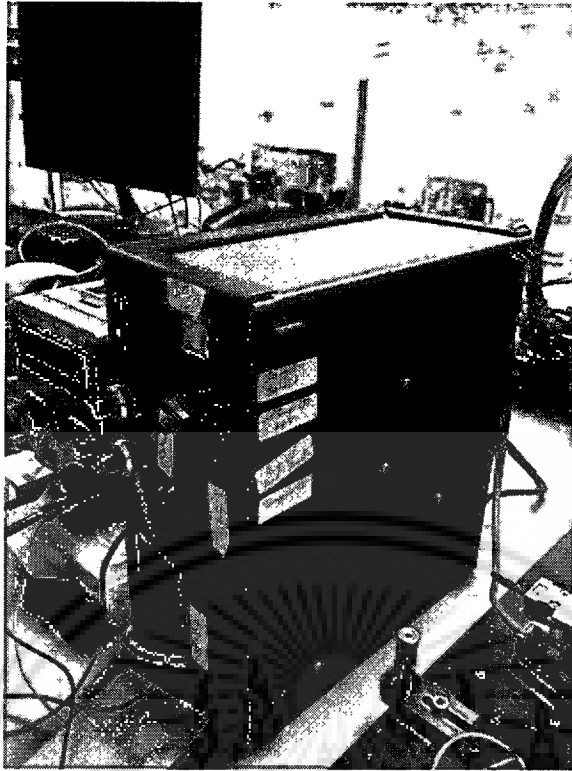
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

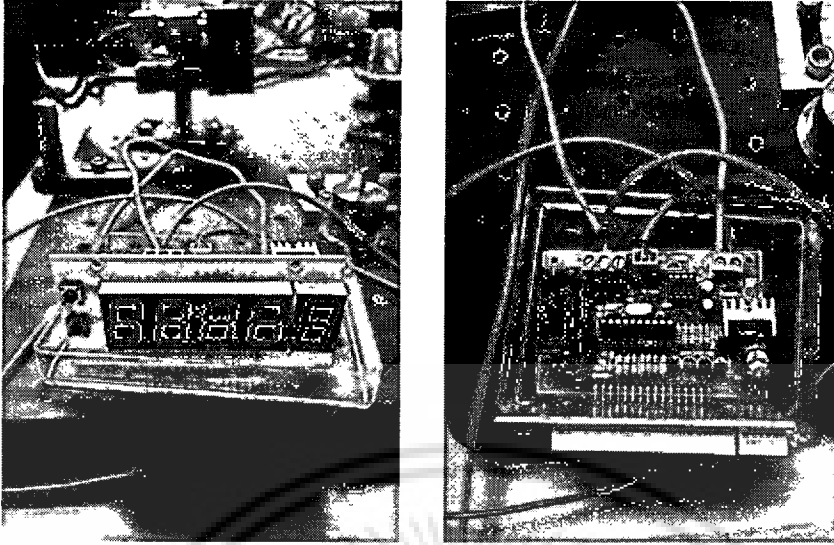


รูปที่ 3.2 เครื่องควบคุมเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 3.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้คุมเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

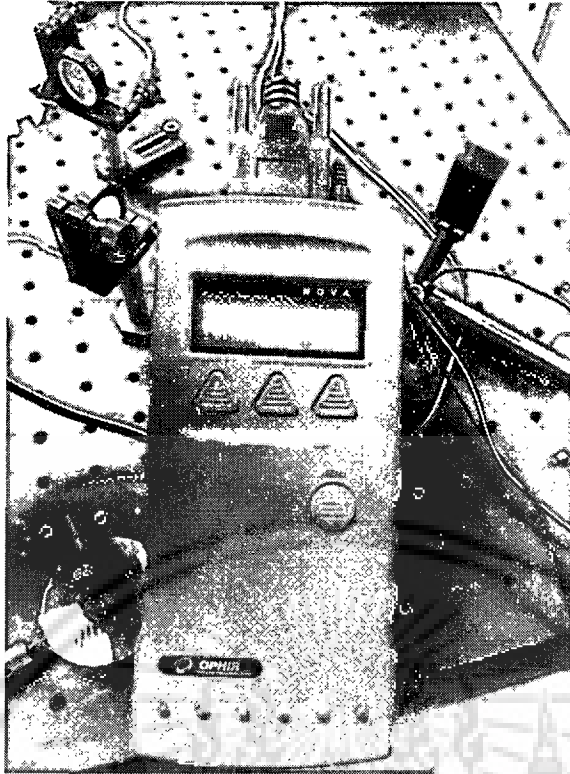


รูปที่ 3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ

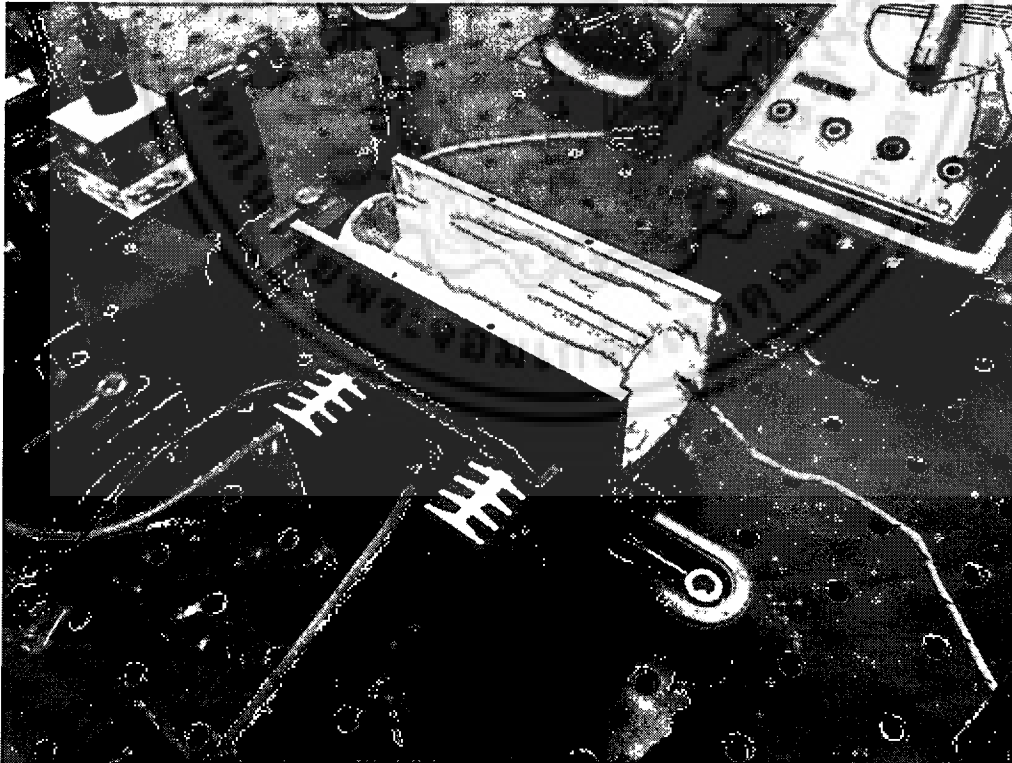


รูปที่ 3.5 มิเตอร์วัดอุณหภูมิ

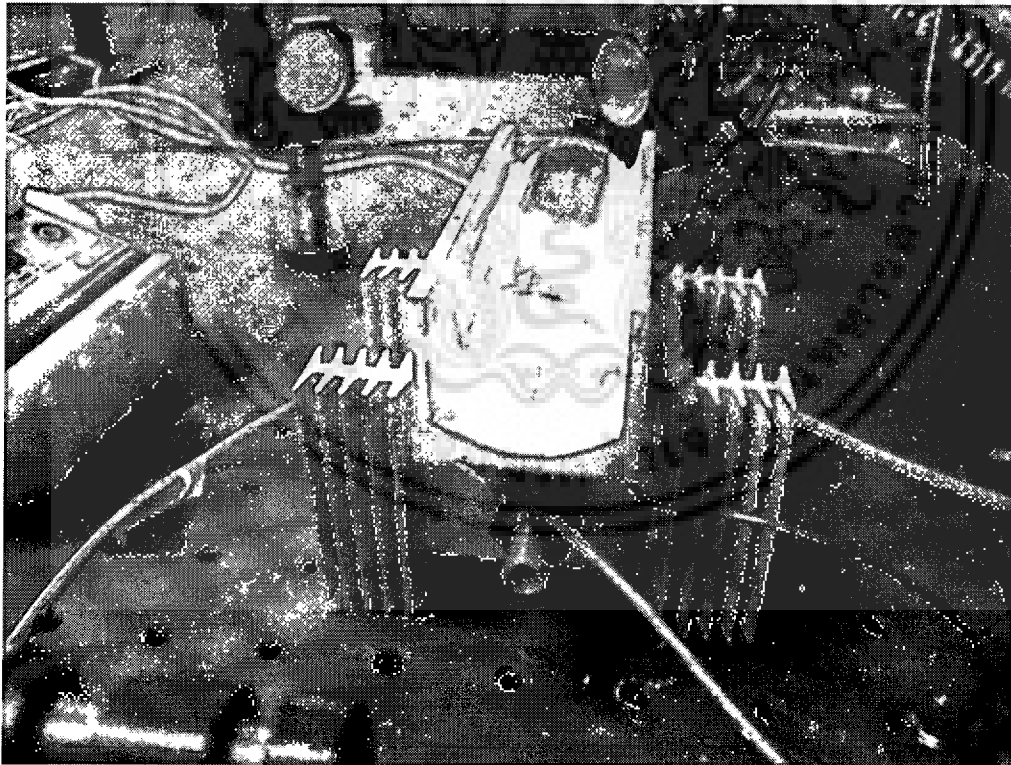
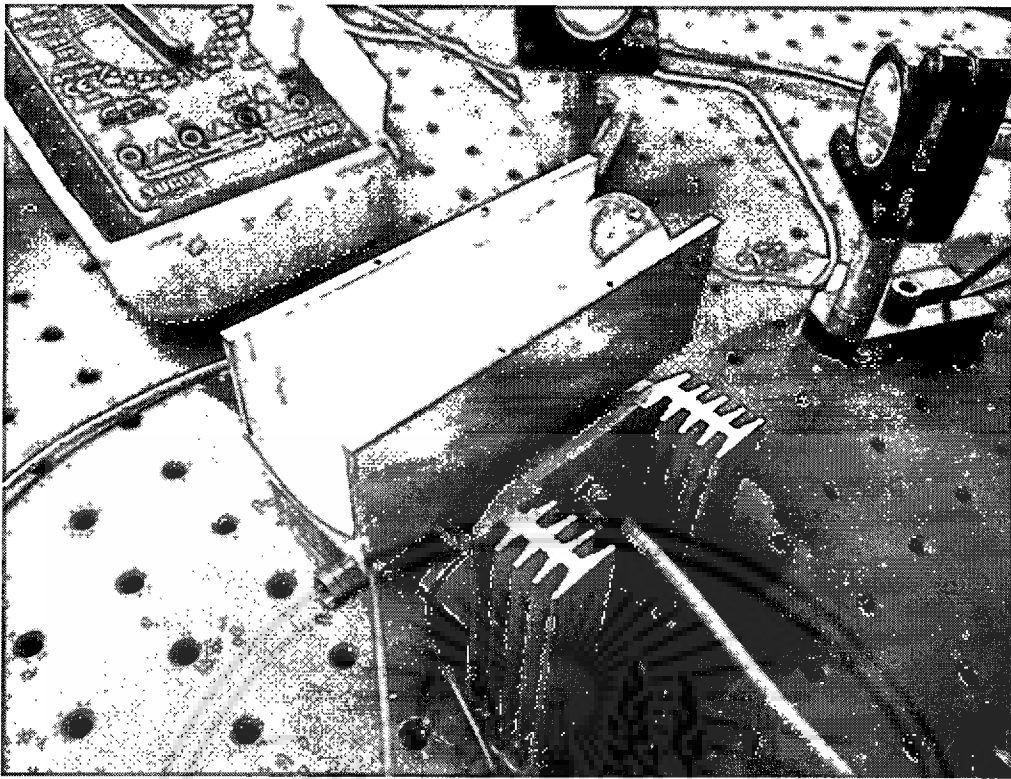
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



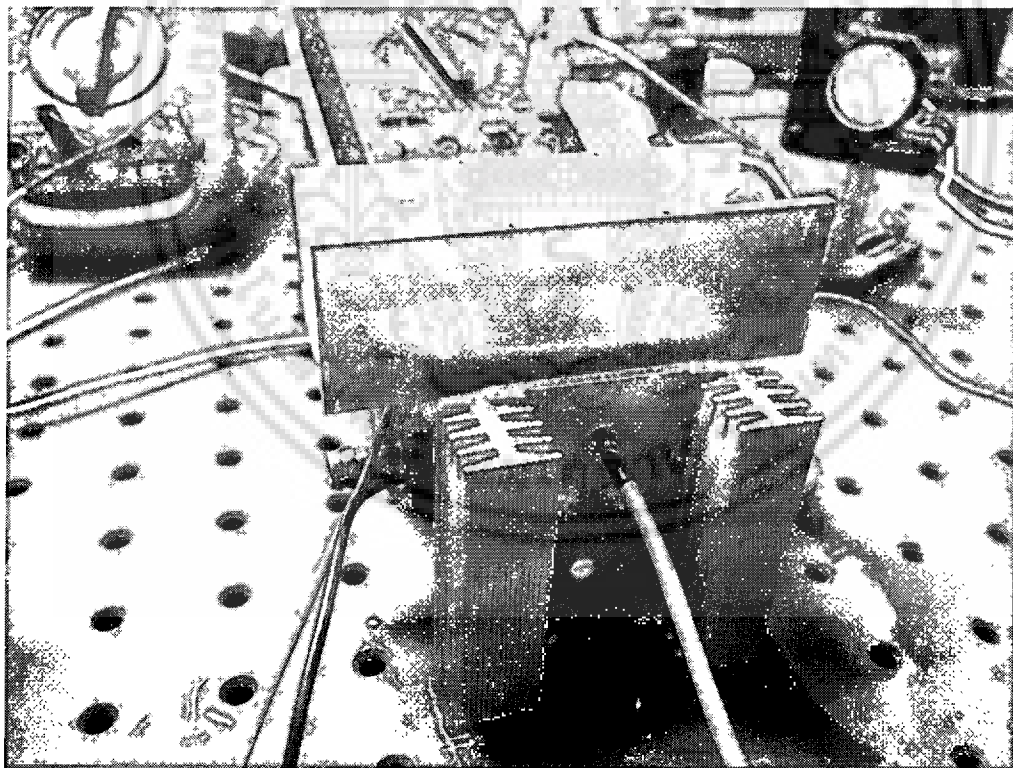
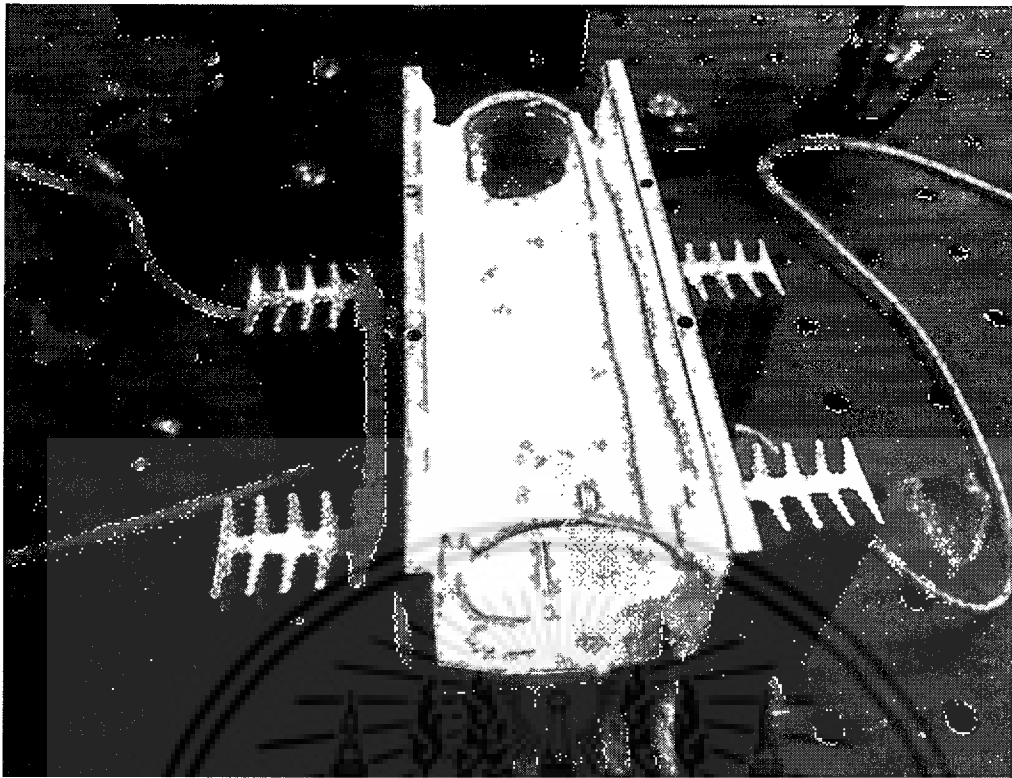
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดกำลังของแสงเลเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

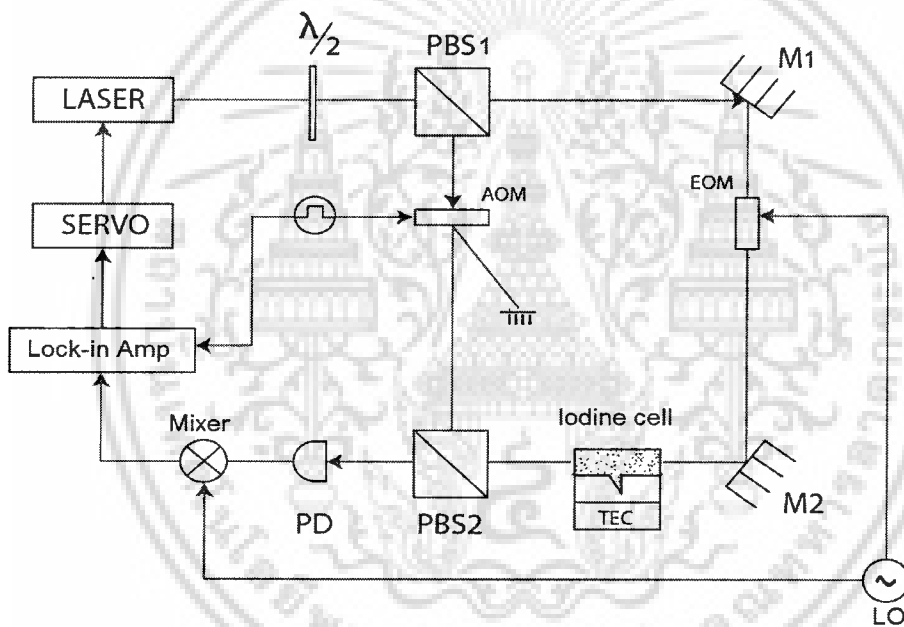


รูปที่ 3.7 ภาพฐานอลูมิเนียมที่ทำการควบคุมอุณหภูมิของหลอดไอ ไอโอดีนกับรูบีเดียม

3.2 วิธีการควบคุมอุณหภูมิหลอดไอไอโอดีนที่ทำให้ความถี่เสถียรในระบบการทดลอง

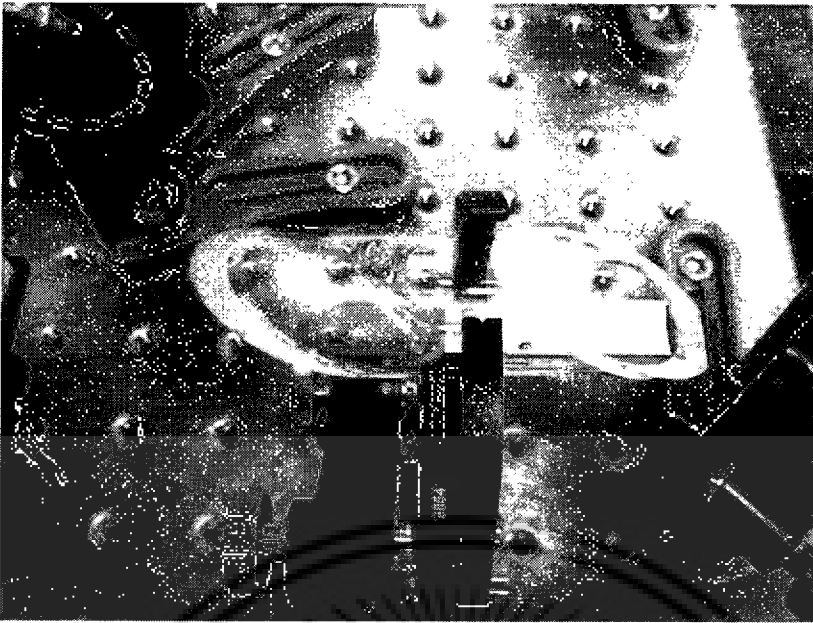
จากรูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบวิธีการทดลองสำหรับการวัดช่วงความถี่ที่เหมาะสมของหลอดไอไอโอดีนเซลล์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการใช้เลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งภายในเลเซอร์นั้นประกอบไปด้วยไดโอดเลเซอร์ที่ช่วงความยาวคลื่นเริ่มต้นที่ 808 นาโนเมตร และทำการยิงทะลุผ่านผลึกนีโอมีเดียมแซ็ค ที่การควบคุมด้วยอุณหภูมิทำให้ได้ช่วงความยาวคลื่นมาเป็น 1062 นาโนเมตร และนำช่วงความยาวคลื่นที่ได้มาทำส่องทะลุผ่านผลึก PPKTP ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งในกระบวนการนี้จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ ความถี่ที่มีการหารครึ่ง จึงทำให้ได้ช่วงความยาวคลื่นออกมาเป็น 532 นาโนเมตร ต่อมาเราทำการวัดกำลังแสงเลเซอร์ที่ปล่อยออกมาพบว่ากำลังของแสงที่ได้อยู่ที่ 25 มิลลิวัตต์ เราได้นำแสงเลเซอร์ทำการส่องผ่าน half wave plate เพื่อเป็นการปรับความเข้มของแสง ต่อมาทำการแบ่งแสงเลเซอร์ออกเป็นสองลำแสงโดยผ่าน polarizing beam splitter โดยลำแสงที่ 1 คือ ลำแสงที่ทำการวัดหรือเรียกว่า probe beam ลำแสงนี้มีการเดินทางไปที่กระจกตัวแรกและผ่านเข้าตัว มอดูเลทสัญญาณที่เป็นแบบปรับสนามไฟฟ้า เรียกว่า electro-optic modulator เพื่อทำการปรับเฟสโดยมีการมอดูเลทสัญญาณอยู่ที่ 5.2 MHz ส่วนลำแสงที่ 2 คือ ลำแสงที่เหมาะสมในการกระตุ้นในที่นี้เราได้ทำการมอดูเลทสัญญาณเพิ่มขึ้นอีก 80 MHz เมื่อลำแสงทั้งสองส่วนนี้เดินมาที่หลอดไอคอดีนเซลล์ จะต้องทำการปรับอัตราส่วนความเข้มของแสงเลเซอร์ให้เป็น 2:1 ซึ่งเราได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ได้ 2 มิลลิเมตร ในส่วนของหลอดไอโอดีนเซลล์ นั้น เราได้มีการใช้หลอดที่มีขนาดความยาว 10 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดอยู่ที่ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งภายในหลอดไอโอดีนเซลล์นั้นจะต้องเกิดการซ้อนทับกันของลำแสงทั้งสองส่วน เมื่อทำการปรับความถี่ให้เหมาะสมกับหลอดไอโอดีนที่ความถี่ 563 THz จะพบมีการดูดกลืนของแสง เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.9 ในส่วนของระบบที่ทำการควบคุมอุณหภูมินั้นเรามีการกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 10, 5, 3, 1 และ -1 องศาเซลเซียส โดยมีการใช้แผ่นเพลทเทียลในปรับอุณหภูมิ และมีวงจรถวลทรอนิกในการควบคุมอุณหภูมิเมื่อทำการเพิ่ม-ลด ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งในที่นี้เราได้หาค่าความเสถียรของแสงเลเซอร์โดยทำการวัดเป็นช่วงความยาวคลื่น โดยเราทำการวัดที่ a10 ของ ช่วงโมเลกุลไอโอดีนที่ R(56)32-0



รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย PBS: Polarization beam splitter, PD: Photo-detector, AOM: Acousto-optic modulator, EOM: Electro-optic modulator, TEC: Temperature electric control, $\lambda/2$: Half-wave plate, M: Mirror, LO: local oscillator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงการดูคลื่นหลอดไอ ไอไดนเซลล์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 532.245036 นาโนเมตร



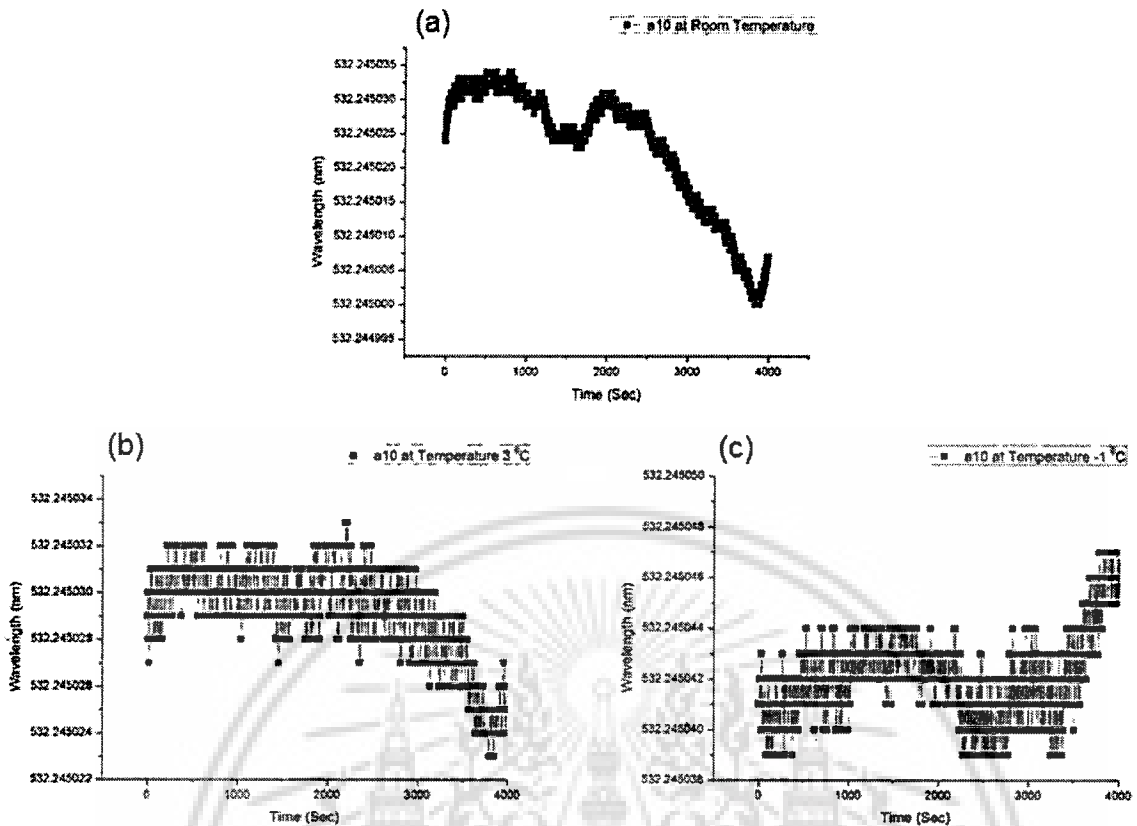
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4**ผลการทดลอง****4.1 ผลการทดลองหาความเสถียรของแสงเลเซอร์ที่ช่วงความยาว 532 นาโนเมตร**

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการวัดความเสถียรของความยาวคลื่นในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันคือ อุณหภูมิห้อง, 3 และ -1 องศาเซลเซียส ซึ่งในที่นี้เราได้ควบคุมผ่านตัว servo controller จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างมากที่สุดที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะมีการเปลี่ยนไปของช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 532.245000 นาโนเมตร ถึง 532.245035 นาโนเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 (a) แต่เนื่องจากเราได้มีการลดความดันภายในหลอดไอโอดีน ด้วยวิธีลดอุณหภูมินั้น จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่นนั้นมีการลดลงตามอุณหภูมิที่กำหนด คือ 3 องศาเซลเซียส และ -1 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.1 (b) และ (c) ตามลำดับ

ในผลการทดลองนี้ที่ช่วงอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่น เฉลี่ยอยู่ที่ 532.245028 นาโนเมตร ซึ่งมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 532.245033 นาโนเมตร และค่าน้อยสุดอยู่ที่ 532.245023 นาโนเมตร

ต่อทำการหาค่าที่ช่วงช่วงอุณหภูมิ -1 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่น เฉลี่ยอยู่ที่ 532.245042 นาโนเมตร ซึ่งมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 532.245047 นาโนเมตร และค่าน้อยสุดอยู่ที่ 532.245039 นาโนเมตร จากผลการวัดที่ได้นั้น พบว่าช่วงความยาวคลื่นจะมีความเสถียรมากขึ้นเมื่อเราลดอุณหภูมิจากหลอดไอโอดีนลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้ความดันภายในหลอดไอโอดีนนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามทฤษฎี

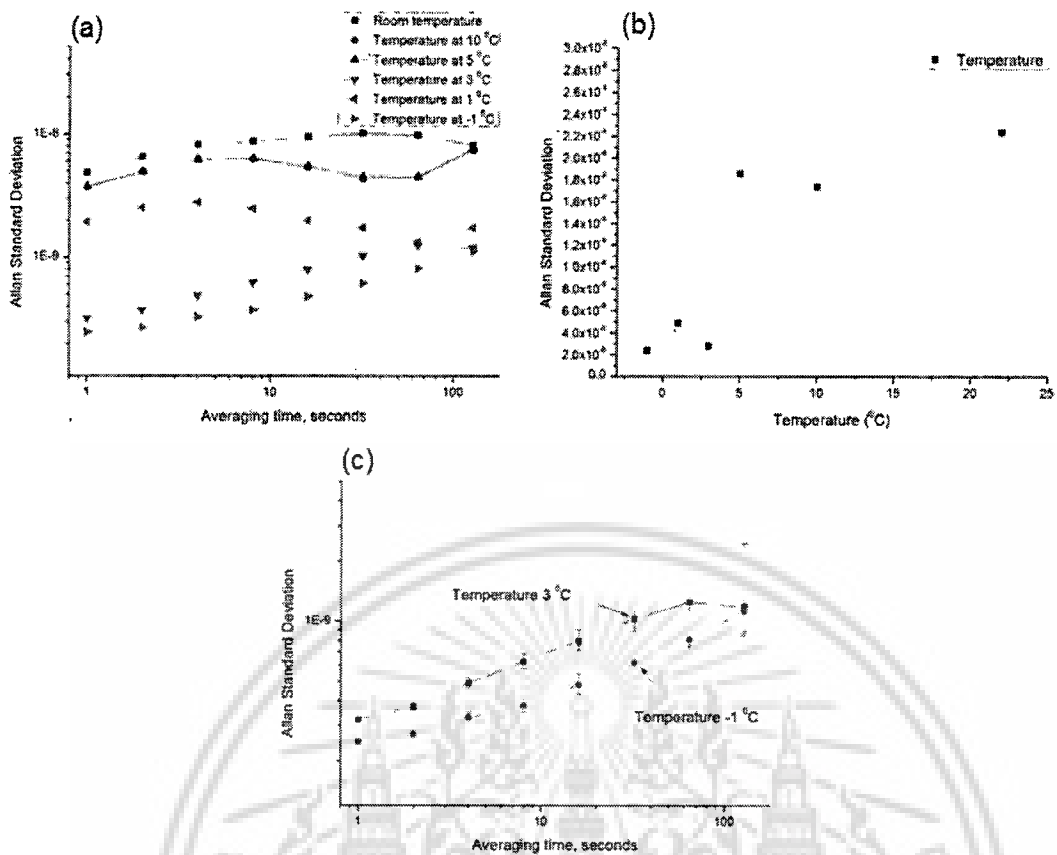


รูปที่ 4.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่นของหลอดไอโอดีน 10 เซนติเมตร ที่มี อุณหภูมิต่างกัน (a) 22, (b) 3 และ (c) -1 องศาเซลเซียส

ต่อมาเราได้ทำการปิดสวิตซ์แสงเลเซอร์กับเครื่อง เลเซอร์ frequency comb โดยทำการหาค่า เสถียรจากวิธีการคำนวณของ Allan standard deviation แสดงดังรูปที่ 4.2 จากรูปที่ 4.2 (a) จะพบว่า ความถี่ที่อุณหภูมิห้องนั้นมีความเสถียรน้อยที่สุด เนื่องจากความดันภายในหลอดนั้นมีค่าน้อยเพราะ เกิดจากอุณหภูมิที่สูง รูปที่ 4.2 (b) เป็นผลการเปรียบเทียบของอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งที่ได้จากวัดหาค่า ความเสถียรเป็นระยะเวลา 600 วินาที นั้นจะพบว่าเมื่อทำการลดอุณหภูมิของหลอดไอโอดีนลงไปที 10, 5, 3, 1, และ -1 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความเสถียรดังนี้ 2.23711×10^{-8} , 1.8528×10^{-8} , 1.7351×10^{-8} , 2.77229×10^{-9} , 4.89391×10^{-9} และ 2.33385×10^{-9} ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 (c) เราได้ทำการเปรียบเทียบความเสถียร โดยค่าอุณหภูมิที่ 3 และ -1 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีความเสถียรของความสูงกว่าทุกอุณหภูมิ จากผลของกราฟ จะพบว่าที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส นั้นมีค่าความเสถียรของความถี่เหมาะสมที่สุดซึ่งพอเพียงที่จะนำมาใช้ในการวัด ทางด้านแสงของสถาบันมาตรวิทยา และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านต่างๆของแสงที่ต้องการ ความถี่ที่มีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเสถียรที่ได้จากการคำนวณของ Allan standard deviation ของหลอดไฟเบอร์ขนาด 10 เซนติเมตร (a) กราฟแสดงความเสถียรในช่วงเวลา 100 วินาที (b) กราฟแสดงความเสถียรที่อุณหภูมิ 22, 10, 5, 3, 1 และ -1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 600 วินาที (c) กราฟเปรียบเทียบของอุณหภูมิที่ 3 และ -1 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จากการติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดลงไปในระบบของเลเซอร์ที่ต้องการ ทำให้ความถี่นั้นมีความเสถียร ซึ่งจะอยู่ที่ 563 THz โดยมีการใช้หลอดไอ ไอโอดีนขนาดความยาว 10 เซนติเมตร จะพบว่าเมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้แก่หลอดไอไอโอดีนที่ อุณหภูมิ 22, 10, 5, 3, 1 และ -1 องศาเซลเซียส โดยทำการควบคุมอุณหภูมิหลอดไอ ไอโอดีนด้วยแผ่นเพลทียล ที่มีชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการวัดหาความถี่ที่เหมาะสมในช่วง $\alpha 10$ ของระดับชั้น โมเลกุลไอโอดีนที่ R(56)32-0 และทำการวัดหาค่าความเสถียรจากเครื่องเลเซอร์ frequency comb ที่มีการคำนวณด้วยสมการ Allan standard deviation ซึ่งผลจากการวัดและคำนวณพบว่าค่าความเสถียรมีค่าต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 3 และ -1 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Hall, L. Ma, M. Taubman, B. Tiemann, F. Hong, O. Pfister, and J. Ye, "Stabilization and frequency measurement of the I₂-stabilized Nd:YAG laser," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 48, 583-586, (1999).
- [2] R. J. Jones, W.-Y. Cheng, K. W. Holman, J. L. Hall, and J. YE, "Absolute-frequency measurement of the iodine-based length standard at 514.67 nm," *Appl Phys B*. 74, 597-601 (2002).
- [3] Th. Udem, J. Reichert, R. Holzwarth, and T. W. Hansch, "Accurate measurement of large optical frequency differences with a mode-locked laser," *Opt. Lett.* 24, 881-883 (1999).
- [4] M. Ranusawud, P. Limsuwan, T. Somthong, K. Vacharanukul, "Effects of the environment on refractive index of air in long gauge block interferometer," *Precis. Eng.* 37, 782-786 (2013).
- [5] Y. Bitou, T. Kobayashi, and F. Hong, "Compact an inexpensive iodine-stabilized diode laser system with an output at 531 nm for gauge block interferometers," *Precis. Eng.* 47, 528-531 (2017).
- [6] P. Kwee, C. Bogan, Danzmann, M. Frede, H. Kim, P. King, J. Pold, O. Puncken, R.L. Savage F. Seifert, P. Wessels, L. Winkelmann, and B. Willke, "Stabilized high-power laser system for the gravitational wave detector advanced LIGO," *Opt. Express* 20, 10617 - 10634, (2012).
- [7] T Schuldt, C. Braxmaier., H. Muller, G. Huber, H. Peters, and U. Johann, "Frequency stabilized Nd:YAG laser laser for space applications," *Proc. ICSO*, 611-617(2004).
- [8] A. Arie, S. Schiller, E.K. Gustafson, R.L. Byer, "Absolute frequency stabilization of diode-laserpumped Nd:YAG lasers to hyperfine transitions in molecular iodine," *Opt. Lett.* 17, 1204-1206 (1992).
- [9] A. Arie, R.L. Byer, "Laser heterodyne spectroscopy of 127I₂ hyperfine structure near 532 nm," *J. Opt. Soc. Am. B*. 10, 1990-1997 (1993). [10] M. Lyon and S.D. Bergeson, "Precision spectroscopy using a partially stabilized frequency comb," *Appl. Opt* 53, 5163-5167 (2014).

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS OF SPIE

[SPIEDigitalLibrary.org/conference-proceedings-of-spie](https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie)

The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system

P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, P. Buranasiri

P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, P. Buranasiri, "The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system," Proc. SPIE 10090, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XIX, 100901J (20 February 2017); doi: 10.1117/12.2251410

SPIE.

Event: SPIE LASE, 2017, San Francisco, California, United States

Downloaded From: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie> on 10/02/2018 Terms of Use: <https://www.spiedigitallibrary.org/terms-of-use>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS OF SPIE

SPIEDigitalLibrary.org/conference-proceedings-of-spie

The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system

P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, P. Buranasiri

P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, P. Buranasiri, "The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system," Proc. SPIE 10090, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XIX, 100901J (20 February 2017); doi: 10.1117/12.2251410

SPIE.

Event: SPIE LASE, 2017, San Francisco, California, United States

The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system

P. Potirak^a, M. Ranusawud^b, P. Limsuwan^c, P. Buranasiri*^a

^aPhysics department, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand;

^bNational Institute of Metrology (Thailand), Klong Luang, Pathumtani 12120, Thailand;

^cPhysics department, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

ABSTRACT

In this research, the temperature characteristics of a 10 cm long iodine cell used in diode-pumped Nd:YAG laser system has been investigated. Here, the laser system were frequency stabilized by locking their frequency-doubled output at 563 THz. The absolute frequency measurement of the a_{10} hyperfine components of molecular iodine R(56) 32-0 line with effect to various temperatures is reported. With the iodine cell temperature control, the output frequency is tuned in the range of standard frequency at 563.2602235 THz with about 10^{-9} of stability.

Keywords: Laser stabilized, iodine cell, Nd:YAG lasers, frequency metrology

1. INTRODUCTION

Due to the important of optical frequency standards in many applications i.e. metrology, optical communication, and fundamental physics, the improvement of the optical standards have been of great interested to the research communities. With a number of advantage properties such as flexibility various power levels, low-frequency noise, and high reliability, iodine-stabilized diode-pumped, frequency-doubled 1064 nm Nd:YAG lasers at 532 nm are widely attractive^{1,2}. In addition, due to some of iodine molecule absorption spectrum transition lines closed to 532 nm, the system have been applied in many experiment, *i.e.* an absolute frequency marker in an optical frequency comb², an interferometer for gauge block measurement^{4,5}, a detector for gravitational wave⁶, a measurement apparatus of stain due to the earth tides and earthquakes⁷. With the reason above, not only some features of molecular iodine, including hyperfine structures, the absolute optical frequency, several absorption line intervals, but optical frequency standards of the system have been studied as well^{8,9}. Optical frequency combs have been applied for simplified absolute frequency measurement in different systems^{2,10}. In this work, the absolute-frequency measurement of the a_{10} hyperfine components of molecular iodine R(56) 32-0 line of a 10 cm long iodine cell with effect to various temperatures were investigated. The Allan standard deviation at different temperatures was calculated by using the optical comb system for accurate frequency different data.

2. EXPERIMENTAL SETUP

The schematic of the experimental setup for absolute frequency measurement of iodine cells is shown in Figure 1. The laser system is a commercial model Innolight Prometheus 50 NE composed of a diode-pumped solid state laser at 1064 nm, and a PPKTP crystal for SHG. The 532 nm (563 THz) with 25 mW propagated through a half wave plate and a polarizing beam splitter divided to two beams, probe beam and pump beam. The half-wave plate was adjusted to maximize the pump beam power going into the iodine cell and the orthogonally polarized probe beam power impinging on the photo detector. The beat signal mixing by local oscillator after a suitable phase delay, then the signal of this line was at dc. The probe beam was reflected at a mirror (M1) and then passed to an electro-optic modulator (EOM) for phase

*prathan.bu@kmitl.ac.th

Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control-XIX, edited by Alexis V. Kudryashov, Alan H. Paxton, Vladimir S. Ilchenko, Proc. of SPIE Vol. 10090, 100901J · © 2017 SPIE · CCC code: 0277-786X/17/\$18 · doi: 10.1117/12.2251410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Proc. of SPIE Vol. 10090 100901J-1

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

The experimental measurement results of wavelength fluctuation with time during one hour period at three different controlled temperatures, room temperature, 3 °C and -1 °C is shown in Figure 3. With the servo controller, the fluctuation of wavelength at room temperature is shifted in between 532.245000 nm to 532.245035 nm as shown in the Figure 3 (a) due to the low pressure in the iodine cell. The fluctuation of wavelength shift has been decreasing when the temperature of the iodine cell has been decreasing to 0 °C (the pressure of the iodine cell has been increasing) as shown in the Figure 3 (b) and (c) at 3 °C and -1 °C respectively. At 3 °C the fluctuation of the wavelength shift is average at 532.2450284 nm with maximum at 532.2450330 nm and minimum at 532.2450230 nm, and at -1 °C its average is 532.2450421 nm with maximum at 532.2450470 nm and minimum at 532.2450390 nm. From these results, the wavelength is more stability when the pressure of the iodine cell was increased.

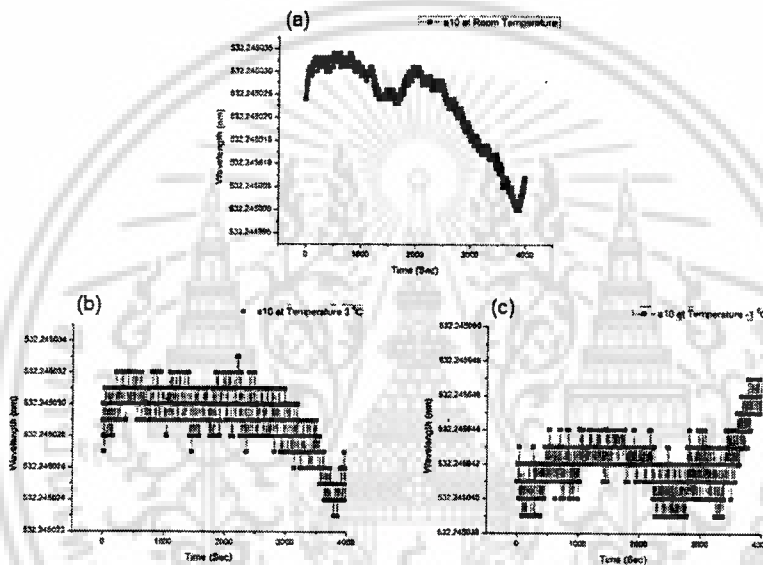


Figure 3. Wavelength fluctuations measured by wavelength meter of iodine 10 cm length at different controlled temperatures (a) 22 °C, (b) 3 °C, and (c) -1 °C

Then the laser frequency comb generator (LFCG) was used to optical beat frequency with our system and then the Allan standard deviation was plotted as shown in Figure 4. From the Figure 4 (a), the frequency at room temperature is less stability due to the low pressure in the iodine cell. The frequency stabilized is increased when the iodine cell temperature is decreased. The Allan standard deviations of vary temperatures, 22°C, 10 °C, 5 °C, 3 °C, 1 °C, and -1 °C in the period of 600 sec are 2.23711×10^{-8} , 1.8528×10^{-8} , 1.7351×10^{-8} , 2.77229×10^{-9} , 4.89391×10^{-9} , and 2.33385×10^{-9} respectively as shown in Figure 4 (b). At the temperatures equal to 3 °C and -1 °C, the stabilizations of frequency are high when compared with those of other temperatures. From this result, the temperature at 3 °C is suitable for the iodine cell 10 cm length for optical metrology and other optical applications.

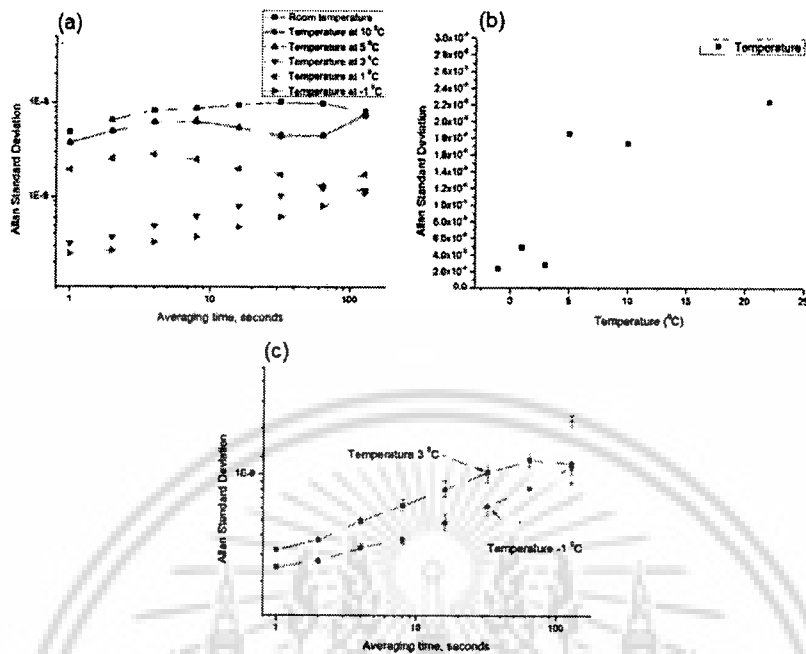


Figure 4. Allan Standard deviation of the measured absolute frequency shift of iodine hyperfine a_{10} components (a) with the period of 100 sec at different temperatures (b) with temperatures of iodine tube in the period of 600 sec (c) with the period of 100 sec at 3 °C and -1 °C

4. CONCLUSION

In this work, the setup of a stabilized frequency-doubled Nd:YAG laser at 563 MHz using a 10 cm long of iodine cell was studied. By varying the temperature of an iodine cell at -1, 1, 3, 5, 10 degree Celsius and room temperature by using Peltier electronic control, the absolute frequencies of the a_{10} hyperfine components of molecular iodine R(56) 32-0 line were measured. Using laser frequency comb, the Allan standard deviation of wavelength were founded lowest about 2.0×10^{-9} at 3 and -1 degree Celsius.

REFERENCES

- [1] J. Hall, L. Ma, M. Taubman, B. Tiemann, F. Hong, O. Pfister, and J. Ye, "Stabilization and frequency measurement of the I_2 -stabilized Nd:YAG laser," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 48, 583-586, (1999).
- [2] R. J. Jones, W.-Y. Cheng, K. W. Holman, J. L. Hall, and J. YE. "Absolute-frequency measurement of the iodine-based length standard at 514.67 nm," *Appl Phys B*. 74, 597-601 (2002).
- [3] Th. Udem, J. Reichert, R. Holzwarth, and T. W. Hansch, "Accurate measurement of large optical frequency differences with a mode-locked laser," *Opt. Lett.* 24, 881-883 (1999).
- [4] M. Ranusawud, P. Limsuwan, T. Somthong, K. Vacharanukul, "Effects of the environment on refractive index of air in long gauge block interferometer," *Precis. Eng.* 37, 782-786 (2013).
- [5] Y. Bitou, T. Kobayashi, and F. Hong, "Compact an inexpensive iodine-stabilized diode laser system with an output at 531 nm for gauge block interferometers," *Precis. Eng.* 47, 528-531 (2017).

- [6] P. Kwee, C. Bogan, Danzmann, M. Frede, H. Kim, P. King, J. Pold, O. Puncken, R.L. Savage F. Seifert, P. Wessels, L. Winkelmann, and B. Willke, "Stabilized high-power laser system for the gravitational wave detector advanced LIGO," *Opt. Express* 20, 10617 - 10634, (2012).
- [7] T Schuldt, C. Braxmaier., H. Muller, G. Huber, H. Peters, and U. Johann, "Frequency stabilized Nd:YAG laser laser for space applications," *Proc. ICSO*, 611-617(2004).
- [8] A. Arie, S. Schiller, E.K. Gustafson, R.L. Byer, "Absolute frequency stabilization of diode-laser-pumped Nd:YAG lasers to hyperfine transitions in molecular iodine." *Opt. Lett.* 17, 1204-1206 (1992).
- [9] A. Arie, R.L. Byer, "Laser heterodyne spectroscopy of $^{127}\text{I}_2$ hyperfine structure near 532 nm," *J. Opt. Soc. Am. B.* 10, 1990-1997 (1993).
- [10] M. Lyon and S.D. Bergeson, "Precision spectroscopy using a partially stabilized frequency comb," *Appl. Opt.* 53, 5163-5167 (2014).



Prathan Buranasiri

Assistant Professor

Department of Physics, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand, 10520
Mobile: 097-095-3982
Email: prathan.bu@kmitl.ac.th

EDUCATION

- **Ph.D.** Electrical and Computer Engineering, Major Electro-Optics, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A. 2006.
Thesis: Optical Correlation Using Isotropic and Anisotropic Self-Diffraction in Photorefractive material.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **M.S.** Physics, Major Optics, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama, U.S.A. 2000.
Thesis: Coherent and Incoherent Self Imaging Using Photorefractive Barium Titanate Crystal.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **B.S.** Physics, Minor Mathematics, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand. 1993.

EXPERIENCE

03/06-present and 04/96-05/97

Assistant Professor, Applied Physics Department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

- Research areas: Semiconductor Lasers, Nonlinear Optics, Photonic Crystals, Optical Communication, Computational Electromagnetics, Optical Tweezers Terahertz Optics, Digital Holography, Optical Coherence Tomography
- Teaching areas: Fundamental Physics, Fundamental Physics Laboratory in Thai and English, Intermediate Physics Laboratory, Physical and Quantum Electronics, Lasers Physics, Physical Optics, Computational Fluid Dynamics, Polarized Light.

04/08-07/08

Visiting Scholar, Center for Biophotonics and Laser Science, Physics Department, School of Physical Sciences, University of Queensland, Brisbane, Qld 4072 Australia.

- Investigate an optical tweezers system for measurement some parameters transfer between the laser and the particle in liquids.
- Building a cheap optical tweezers system for using in undergraduate laboratory.

01/00-02/06

Research Assistant, Optical Information Processing Lab, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A.

- Built optical systems to study incoherent diffraction of acousto-optic cells
- Built optical systems to study pattern formation by photorefractive crystals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Set up the experiments for undergraduate optic class and high school outreach program

04/95-03/96

Research Assistant, Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

- To be the secretary of nuclear energy and hydrogen energy project.
- To collect the data for electricity outage cost project.

AWARDS AND HONORS

- Thailand Research Fund for New Faculty Member (2008)
- Royal Thai Government Fellowship for Exchanging Faculty (2007)
- Quatman Scholarship (ECE Department, University of Dayton (Winter 2006)
- Research Excellent Award (SPIE Annual Meeting 2005)
- University of Dayton Summer Fellowship (2005)
- Royal Thai Government Scholarship (1997-2003)

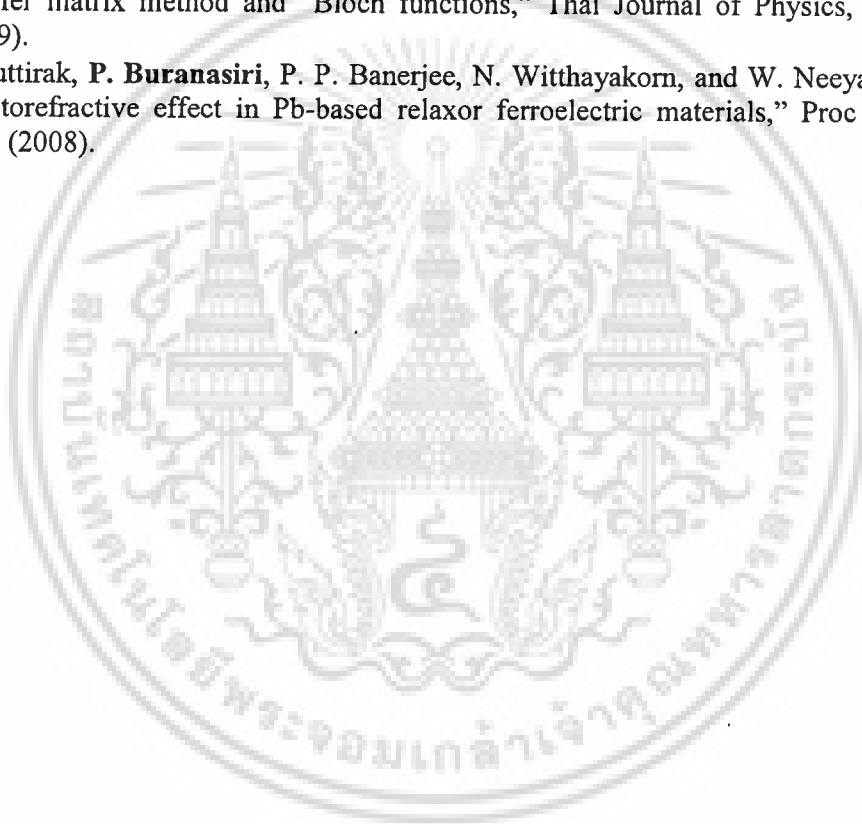
PUBLICATIONS

- R. Prachachet, B. Samransuksamer, M. Horprathum, P. Eiamchai, S. Limwichan, C. Chananonnawathorn, T. Lertvanithphol, P. Muthitamongkol, S. Boonruang, and **P. Buranasiri**, "A comparative study on omnidirectional antireflection SiO_2 nanostructure films coating by glancing angle deposition," *Proc SPIE* 10533 (2018)
- T. Srisuwan, R. Somphonsane, S. Sutthiruangwong, and **P. Buranasiri**, "The investigation of corrosion behavior of electrodeposited Co-Fe alloys surface with phase and 3D reconstruction of image using TIE and TPE," *Proc SPIE* 10503 (2018)
- S. Wicharn, S. Plaipichit, T. Seesan, and **P. Buranasiri**, "A birefringent phase-matching method in multilayered hyperbolic metamaterials," *Proc SPIE* 10516, (2018)
- P. Buranasiri, R. Naunsri, and **P. Buranasiri**, "A numerical investigation of difference frequency generation in nonlinear multilayered metamaterials," *Proc SPIE* 10343, (2017)
- P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, and **P. Buranasiri** "The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system," *Proc SPIE* 10090, (2016)
- C. Boonsri, and **P. Buranasiri**, "Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography" *Proc SPIE* 9970, (2016)
- T. Thong-on, and **P. Buranasiri** "Measuring a thermal expansion of thermoelectric materials by using in-line digital holography" *Proc. SPIE.* 10022, (2016)
- P. Phongwisit, S. Kamoldilok, and **P. Buranasiri** "Elongation measurement using 1-dimensional image correlation method" *Proc. SPIE.* 10023, (2016)

- T. Thong-On, T. Prakobsang, W. Pethsanthad, **P. Buranasiri**, and K. Yoshimori, "The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder paste by using double-view digital holography" Proc SPIE 9659, (2015)
- K. Sidakum, **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, W. Yindeesuk, and K. Yoshimori, "Imaging enhancement of digital holography using photorefractive effect" Proc SPIE 9659, (2015)
- **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, W. Yindeesuk, and K. Yoshimori, "Digital holography system for undergraduate student laboratory" Proc SPIE 9659, (2015)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Intense terahertz-pulse generation by four-wave mixing process in induced gas plasma" Proc SPIE 9546, (2015)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, "Nonlinear frequency conversion effect in a one-dimensional graphene-based photonic crystal" Proc SPIE 9659, (2015)
- C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, **P. Buranasiri**, A. Charoenphakdee, and V. Amornkitbamrung, "P-Type optoelectronic and transparent conducting oxide properties of delafossite $\text{CuAl}_1/2\text{Fe}_1/2\text{O}_2$ " Journal of the American Ceramic Society, 98 (2), 437-442, (2015)
- **P. Buranasiri**, "Optics and communication technology major of physics undergraduate degree at king mongkut's institute of technology ladkrabang" Proc SPIE 9188, (2014)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Fast fluorescent imaging-based Thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis" Applied Optics, 10, 2206-2212, (2014)
- S. Plaipichit, and **P. Buranasiri**, "Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography" Optical Engineering, 53 (11), 112315, (2014)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Third-harmonic generation enhancement in polymer-dispersed liquid crystal grating" Proc SPIE 9162, (2014)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Third-harmonic pulse generation in one-dimensional photonic crystal structures" Journal of Nanophotonics, 8 (1), 083893, (2014)
- **P. Buranasiri**, and S. Plaipichit, "Glass bottle inspection by using digital in-line holography" Proc SPIE 9204, (2014)
- **P. Buranasiri**, "Optics and communication technology major of physics undergraduate degree at king mongkut's institute of technology ladkrabang" Proc SPIE 9188, (2014)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Fast fluorescent imaging-based Thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis" Applied optics, 53 (10), 2206-2212, (2014)
- C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, **P. Buranasiri**, and C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, "Preparation, characterization and finite element computation of $\text{Cu}(\text{Al}_{1/2}\text{Fe}_{1/2})\text{O}_2$ Delafossite-oxide thermoelectric generator module" Integrated Ferroelectrics, 156 (1), 102-114, (2014)
- S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "The direct measurement of the photorefractive grating on anisotropic self diffraction using digital holography" Integrated Ferroelectrics, 156 (1), 160-167, (2014)

- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, “A computational investigation of third-harmonic generation in one-dimensional photonic band-gap materials with multiple-scale method” *Integrated Ferroelectrics*, 156 (1), 45-52, (2014)
- S. Janchaysang, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, “Tunable filter-based multispectral imaging for detection of blood stains on construction material substrates part 2: Realization of rapid blood stain detection,” *Applied Optics*, 52(20), 4898-4910, (2013)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, “Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures” *Applied Optics*, 52 (25), 6090-6099, (2013)
- K. Sidakum, **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, C. Ruttanapun, and P. Jindajithawat, “The generation of optical phase conjugation from cerium doped barium titanate at wavelength of 632.8 nm” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- N. Laowattanatham, N. Cheamanunkul, S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, and R. Nuansri, “Low cost optical tweezers systems using double coil driving stepping motor to controlling sample stage” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- S. Plaipichit, P. Atta, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, “Fingerprint verification by using low coherence digital holography” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- C. Ruttanapun, M. Sa-Nguan-Cheep, S. Kahatta, **P. Buranasiri**, and P. Jindajitawat, “Optical and electronic transport properties of p-type CuCoO₂ transparent conductive oxide” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- S. Janchaysang, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, “Improved tunable filter-based multispectral imaging system for detection of blood stains on construction material substrates” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, “Efficient third-harmonic generation in one-dimensional photonic crystals” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, “Single-wavelength based thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, and **P. Buranasiri**, “Investigation of the characteristic of the Nd:YAG laser for standard wavelength in metrology” *Proc SPIE 8883*, (2013)
- S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, R. Nuansri, and W. Neeyakorn, “Multi high-order anisotropic self-diffraction in Cerium doped BaTiO₃ crystal,” *Proc SPIE 8258*, (2012).
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, “Parametric down conversion process in one-dimensional photonic band gap structure,” *Proc SPIE 8240*, (2012).
- P. Pacharavarangkool, S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, “Terahertz pulse generation in air using difference frequency generation,” *Thai Journal of Physics*, 7, (2011)

- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, and J. W. Haus “The defect state of metallo-dielectric photonic band gap structure and its application in optoelectronic devices” Thai Journal of Physics, **6**, (2010)
- S. Plaipichit, T Taengtung, S. Kamoldilok, and **P. Buranasiri**, “ Adjustable high voltage direct current power supply for CO₂ laser controlled by digital system,” Thai Journal of Physics, **6**, (2010).
- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. Puttanarakul, and N. Witthayakorn, “A study of photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric crystals using P-scan technique,” Thai Journal of Physics, **5**, 325 (2009).
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, W. Yindeesuk, C. E. Sunny, A. M. Sarangan, and J. W. Haus, “Metallo-dielectric photonic band gap structure simulation using transfer matrix method and Bloch functions,” Thai Journal of Physics, **5**, 55 (2009).
- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. P. Banerjee, N. Witthayakorn, and W. Neeyakorn, “Photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric materials,” Proc SPIE 6793 (2008).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้