

การประยุกต์คุณสมบัติการสั้นของควอเทอร์นในการวัดความหนาของฟิล์มบาง



นาย พรสันต์ จิตต์แจ้ง

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

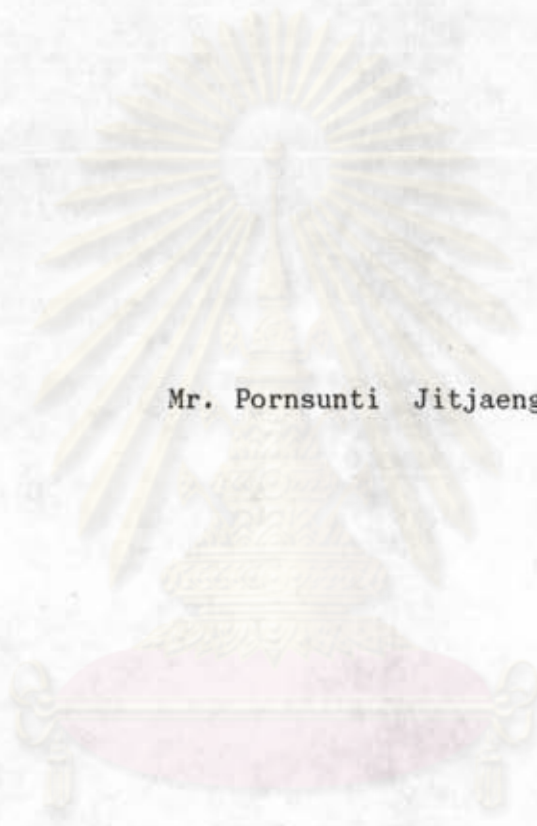
ISBN 974-576-568-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015409

110304587

APPLICATION OF OSCILLATION PROPERTY OF QUARTZ IN THICKNESS
MONITORING OF THIN FILM



Mr. Pornsunti Jitjaeng

ศูนย์วิทยทรัพยากร
คณะอักษรศาสตร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University


1989

ISBN 974-576-568-6

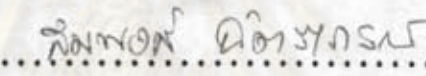
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์สมบัติการสั้นของควอเทอร์นารี
ในการวัดความหนาของฟิล์มบาง
โดย นายพรสันต์ จิตต์แจ้ง
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ภิชโย ปันยารชุน, Ph.D.

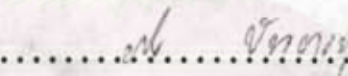


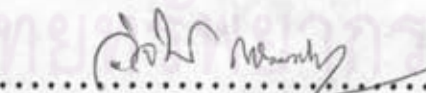
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

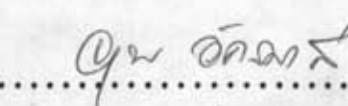

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ ฉัตรการณ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิชโย ปันยารชุน)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เสงฆ์พันธ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

พรสันต์ ฐิตต์แจ้ง : การประยุกต์สมบัติการสั่นของควอตซ์ในการวัดความหนาของฟิล์มบาง
(APPLICATION OF OSCILLATION PROPERTY OF QUARTZ IN THICKNESS MONITORING OF THIN FILM) ที่ปรึกษา : รศ.ดร. กิโยชิ นิชิบาระ, 102 หน้า

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการประยุกต์สมบัติการสั่นของควอตซ์ในการวัดความหนาของฟิล์มบางของโลหะขณะทำการระเหยโลหะใน เครื่องระเหย โดยอาศัยหลักการที่ว่า ความถี่เรโซแนนซ์ของผลึกควอตซ์จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มมวลสำหรับบาง ๆ บนผิวหน้าของชิ้นผลึก และได้สร้างเครื่องมือตรวจวัดนี้ขึ้น โดยใช้ผลึกควอตซ์ เป็น เครื่องรับรู้และ เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำการนับความถี่เรโซแนนซ์ และหาการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอตซ์รับรู้

การทดลองครั้งนี้ใช้แผ่นกระจกใสเป็นฐานรองและขึงหามวลของแผ่นสไลด์เปล่าหลายแผ่นและบันทึกค่าไว้ จากนั้นทดลองการทำงานของชุด เครื่องมือและโปรแกรม โดยการทดลองระเหยโลหะทองแดงขึ้นไปฉาบบนแผ่นกระจกใสชุดนี้แต่ละแผ่น โดยหยุดการระเหยที่การเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ กันของความถี่เรโซแนนซ์ของผลึกควอตซ์รับรู้ นำแผ่นสไลด์ไปชั่งหามวลหลังจากฉาบด้วยโลหะและหาค่ามวลที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งใกล้เคียงกับมวลของฟิล์มบางที่ขึ้นไปฉาบ) และนำค่าของมวลที่เพิ่มขึ้นชุดนี้ไปพล็อตเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น นำความหมายของฟิล์มที่หาลาจากมวลของฟิล์มบางมาพล็อตเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น นำความหมายของฟิล์มที่หาลาจากมวลของฟิล์มบางมาพล็อตเปรียบเทียบกับความหมายของฟิล์มที่หาลาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ เพื่อทำเป็นกราฟเปรียบเทียบ นำสไลด์ของกราฟที่รับเทียบมาปรับปรุงโปรแกรม เพื่อคำนวณหาความหมายจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ และทำการทดลองโดยฉาบโลหะบนแผ่นสไลด์อีกชุดหนึ่ง และเปรียบเทียบความหมายที่หาลาจากมวลของฟิล์มบางกับความหมายที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันพอสมควร



ภาควิชา วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา วัสดุศาสตร์
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิติกร *นิติกร*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ศ. นิชิบาระ*

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

PORNSUNTI JITJAENG : APPLICATION OF OSCILLATION PROPERTY OF QUARTZ IN THICKNESS MONITORING OF THIN FILM. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. BHIYAYO PANYARJUN, Ph.D. 102 pp.

The investigation was to apply the oscillation property of quartz in thickness monitoring of thin film while evaporating a metal in an evaporator, on the principle that the resonance frequency at which the quartz crystal oscillates is lowered by the addition of material to its surface. An apparatus to monitor film thickness was constructed by using a quartz crystal as the basic sensing element. A microcomputer program measured the frequency and calculated the frequency change of the sensor crystal.

A number of microscopic slides were used as substrates. Each slides were carefully weighed and recorded before being deposited with copper. Each evaporation was discontinued for corresponding frequency change of the sensor crystal. The plot of mass changes of the slides against the frequency changes was found to be approximately linear. A calibration curve between the film thickness calculated from the film mass against the film thickness calculated from the frequency change was plotted. Using the best value of the slope, the constants in the computer program was modified. Another set of evaporation process was carried out for testing. The results were found to be consistent.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ศาสตร์
สาขาวิชา ศาสตร์
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต นพวิทย์ นพวิทย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นพ. นพวิทย์



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. กิยาฯ ปันยารชุน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และ ให้ความช่วยเหลือทุกครั้งที่ทำการศึกษาทดลองงาน (ซึ่งผู้เขียนชื่นชมในทักษะของท่านเป็นอันมาก) ตลอดจนหาห้ยืมหนังสือต่าง ๆ อีกด้วย ผู้เขียนรู้สึกเป็นพระสพการณที่ดีที่อยู่ใต้การดูแลของท่าน และขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. วิจิตร เล็งหะพันธ์ ซึ่งได้กรุณาห้ยืมเครื่องนับความถี่ HP5216A และออสซิลโลสโคป อีกทั้งเครื่องใช้อื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์ และ ผศ. สมพงษ์ ฉัตรภรณ์ ซึ่งห้คำแนะนำในเรื่องของพีซีอิเล็กทรอนิกส์ และเรื่องอื่น ๆ อันจำเป็นอย่างยิ่ง และห้ยืมบทความ ทั้งยังได้กรุณาห้ใช้เครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการเคมีคอนดัคเตอร์ และผู้ซึ่งผู้เขียนจะลืมเสียมิได้ คือ คุณพิสิทธิ์ คารังค์กิจการ ที่ได้สละเวลาห้คำแนะนำอันมีประโยชน์มาก ทั้งในด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรม และคุณวิชาญ กกกนทา และ คุณชัยวัฒน์ เหล่าวัฒนากุล ซึ่งห้คำแนะนำในการใช้โปรแกรมออกแบบลายวงจร Protel และ OrCAD และคุณธนกร ซึ่งแวะมาเยี่ยมบ่อยครั้ง และพยายามห้คำปรึกษาต่าง ๆ นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณวรรณ ศรีรินทร์นุช แห่งศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่อำนวยความสะดวกทุกครั้งทีบติดต่อกับเครื่องมือชั่ง และ พ.จ.อ.พูน อัจจบุ (ลุงจำ) ที่ช่วยเหลือในด้านเทคนิคต่าง ๆ ในช่วงต้นของการทดลอง และยังแวะมาที่ห้องปฏิบัติการเสมอ แม้ท่านจะเกษียณไปแล้วก็ตาม และคุณไพรัตน์ ธรรมแสง ที่ได้ช่วยต่อแหล่งจากเพื่อวางอุปกรณ์ และคุณกัมพล ชวัณชื่น ที่ช่วยเป็นธุระในการติดต่อกับร้านทาแผ่นลายวงจร และเพื่อน ๆ คนอื่น ๆ ที่คอยส่งข่าวต่าง ๆ ห้ทราบเสมอ และคุณวารุณี เซาน์ชูเวช แห่งบริษัท ยูฟิคอน จำกัด ซึ่งได้เอื้อห้ใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แมคอินทอช และเลเซอร์ปริ้นท์เตอร์ เพื่อทำรูปประกอบบางรูป และ Mr.Charles Culbertson ซึ่งได้เอื้อห้ใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ในการพิมพ์ส่วนใหญ่นับ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร. เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, อาจารย์นิยนา และอาจารย์สมพงษ์ จิรมณีวงศ์ แห่งคริสตจักรความหวังกรุงเทพฯ ที่มีส่วนในการพัฒนาความเชื่อห้กับผู้เขียน และคุณวรรณวิภา จิตต์แจ้ง ที่มีส่วนช่วยพิมพ์ต้นฉบับทั้งหมดอย่างอดทน และออกมาจากใจ ซึ่งผู้เขียนซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและมักโทรศัพท์ทวงไกลเพื่อห้กำลังใจแก่ผู้เขียนด้วยความเชื่อมั่นเสมอมา

เหนืออื่นใด ผู้เขียนตระหนักถึงพระคุณของพระเจ้า ที่ช่วยเหลือผู้เขียนพันอุปสรรคต่าง ๆ ตลอดจนการท้าวิจัย และในหลายอย่างทีเหนือความสามารถของผู้เขียนเอง แต่พระเจ้าด้วยคำสรรเสริญ !



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ม
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของการวัดความหนาของฟิล์มบาง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	2
2. ทฤษฎี	4
2.1 คุณสมบัติทั่วไปของผลึกควอartz	4
2.2 การสั่นของผลึก	6
2.3 ออสซิลเลเตอร์ผลึก	7
2.4 ฟิล์มควอartzชนิด AT	8
2.5 ฟิล์มควอartzในการหาความหนาของฟิล์มบาง	9
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
3.1 บทนำ	15
3.2 หลักการทำงานของเครื่องมือ	15
3.3 ฟิล์มควอartzรับรู้	17
3.4 ออสซิลเลเตอร์รับรู้	17
3.5 บัพเพอร์	18
3.6 ออสซิลเลเตอร์อ้างอิง	21
3.7 มิกเซอร์	22
3.8 กล้องบรรจุวงจร	24
3.9 แผ่นวงจรอินเทอร์เฟส	25

4.	ส่วนที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอมพิวเตอร์และการอินเทอร์เฟส.....	26
4.1	ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์.....	26
4.2	ไมโครโปรเซสเซอร์.....	27
4.3	ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 6502.....	27
4.4	ส่วนประกอบของไมโครคอมพิวเตอร์.....	29
4.5	ระบบบัสในไมโครคอมพิวเตอร์.....	31
4.6	สัญญาณพิก้า.....	31
4.7	พอร์ทอินพุท / พอร์ทเอาต์พุท.....	31
4.8	แฟลก.....	33
4.9	การอินเทอร์รัพท์.....	33
4.10	การอินเทอร์เฟส.....	35
4.11	การอินเทอร์เฟสใน Apple II.....	36
4.12	วงจรรีนาเทอร์เฟสที่นำมาใช้.....	38
4.13	6522 VIA.....	39
4.14	การใช้ T1 ของ 6522.....	43
4.15	การใช้ T2 นับสัญญาณจากภายนอก.....	44
4.16	โปรแกรมที่ใช้.....	44
4.17	ชิพรูทิน TIMER.....	45
4.18	โปรแกรมใช้งาน.....	46
5.	การใช้เครื่องมือและผลการทดลอง.....	56
5.1	การใช้เครื่องมือ.....	56
5.2	การทดสอบการทำงานของเครื่องมือ.....	60
5.3	การทากราฟเปรียบเทียบ.....	63
5.4	การปรับปรุงและทดสอบโปรแกรมใช้งาน.....	69
5.5	การใช้โปรแกรมใช้งาน.....	71
5.6	สรุปผลการทดลอง.....	72
5.7	วิจารณ์และข้อเสนอแนะ.....	73
	เอกสารอ้างอิง.....	74
	ภาคผนวก.....	75
	ประวัติผู้เขียน.....	102



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4-1 การกำหนดตำแหน่งและหน้าที่ของรีจิสเตอร์ T1 และ T2 ของ 6522.....	41
4-2 ตำแหน่งและสัญลักษณ์ของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้อง กับการนับ/จับเวลาของ 6522.....	42
5-1 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ เมื่อทดลองหาอายุจรด.....	59
5-2 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ ที่ความดันต่าง ๆ กันในฝาครอบทรงระฆัง.....	60
5-3 เปรียบเทียบความถี่ที่วัดได้จาก Apple II กับที่วัดได้จาก HP5216A.....	61
5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ และมวลของฐานรองที่เพิ่มขึ้นหลังการฉาบโลหะ (ทองแดง) (แผ่นสไลด์ชุดที่ 1).....	62
5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ และมวลของฐานรองที่เพิ่มขึ้นหลังการฉาบโลหะ (ทองแดง) (แผ่นสไลด์ชุดที่ 2).....	63
5-6 เปรียบเทียบค่าความหนาของฟิล์มบางที่คำนวณได้จากมวลของฟิล์มบาง กับที่คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	67
5-7 เปรียบเทียบค่าความหนาของฟิล์มบางที่แสดงบนจอมอนิเตอร์หลังจาก ปิดชุดเคอร์กับที่คำนวณจากมวล.....	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1	ปรากฏการณ์ฮอลล์ของแผ่นฟิล์มบางของบิสมัท 1
2-1	ผลึกควอทซ์อ้างอิงกับแกนธรรมชาติ, z. 4
2-2	มุมตัดผลึกควอทซ์ชนิดต่าง ๆ 5
2-3	การเกิดโพลาริเซชันของสารพิโซอิเล็กทริก 5
2-4	ออสซิลเลชันตามความหนาแบบเฉือนในผลึกควอทซ์ 8
2-5	การเปลี่ยนแปลงความถี่กับอุณหภูมิสำหรับผลึกควอทซ์ ที่ตัดแบบ AT. 9
2-6	ความถี่เรโซแนนซ์และสภาพไวต่อการกำหนดมวล ของผลึก AT เป็นฟังก์ชันของความหนาของผลึก 11
2-7	การเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดและ mass loading ของผลึก AT เป็นฟังก์ชันของความหนาของผลึก 12
3-1	แผนผังการทำงานของชุดเครื่องมือ 16
3-2	ผลึกควอทซ์รับรู้ 17
3-3	รูปร่างจรรออสซิลเลเตอร์รับรู้ 18
3-4	รูปร่างจรรีบเพอร์ 19
3-5	ก เปรียบเทียบสัญญาณจากชาคอลเลคเตอร์ของ Q3 ในวงจรรีบเพอร์ เมื่อใช้ Rx ต่างกัน 2 ค่า 20
	ข เปรียบเทียบสัญญาณจากชาเอาร์ทพุท ของ 74LS14 เมื่อใช้ Rx ต่างกัน 2 ค่า 20
3-6	รูปร่างจรรออสซิลเลเตอร์อ้างอิง 21
3-7	สัญญาณของออสซิลเลเตอร์อ้างอิง 22
3-8	รูปร่างจรมิกเซอร์ 23
3-9	สัญญาณเอาร์ทพุทของมิกเซอร์ 23
3-10	กล่องบรรจุวงจร 24
3-11	แผนผังภายในกล่องบรรจุวงจร 25
4-1	ส่วนประกอบหลักของคอมพิวเตอร์ 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-2	การจัดขาของวงจรถัดเสร็จ 6502.....28
4-3	รีจิสเตอร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ 6502.....28
4-4	ระบบบัสของไมโครคอมพิวเตอร์ Apple II.....30
4-5	บิตต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ P ของ 6502.....33
4-6	สัญญาณซึ่งให้กับขา IRQ ของ 6502 เพื่อขอการอินเทอร์รัพท์.....34
4-7	แผนผังการอินเทอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์ Apple II.....36
4-8	ช่องทางติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกของ Apple II (สลีตอินเตอร์เฟส).....37
4-9	หมายเลขแอดเดรสของสลีตทั้ง 8 ของ Apple II.....38
4-10	วงจรถัดอินเทอร์เฟส.....39
4-11	รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับการนับและจับเวลาภายใน 6522 VIA.....40
4-12	ACR รีจิสเตอร์.....42
4-13	IER รีจิสเตอร์.....42
4-14	แผนผังเวลาสำหรับโปรแกรม TIMER.....45
4-15	โพล์ซาร์ตของโปรแกรม TIMER.....47
4-16	โพล์ซาร์ตของโปรแกรมแสดงความหนา.....52
5-1	การต่อเครื่องมือเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ และเครื่องระเหยสาร.....57
5-2	ข้อความบนจอมอนิเตอร์.....58
5-3	กราฟความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับน้ำหนักของแผ่นสไลด์ที่เพิ่มขึ้น (แผ่นสไลด์ชุดที่ 1).....66
5-4	กราฟความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับน้ำหนักของแผ่นสไลด์ที่เพิ่มขึ้น (แผ่นสไลด์ชุดที่ 2).....67
5-5	กราฟเปรียบเทียบพล็อตระหว่างความหนาที่หาได้จากมวล ของฟิล์มบางกับที่หาได้จากการเปลี่ยนแปลงความถี่.....68