การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารที่ความถี่ต่าง ๆ

เรืออากาศตรี เรืองศักดิ์ แก้วหาญ

004325

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๑๙

I 17142076

DIELECTRIC CONSTANT MEASUREMENT OF MATERIALS AT VARIOUS FREQUENCIES

Plt Off Ruangsak Kaewharn

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1976

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

คณบดี

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย บันยารชุน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งหะพันธ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ยุทธ อัครมาส)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช)

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย อาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารที่ความถี่ต่างๆ

โดย เรืออากาศตรี เรืองศักดิ์ แก้วหาญ

แผนกวิชา ฟิสิกส์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ

ชื่อ เรืออากาศตรี เรืองศักดิ์ แก้วหาญ

ปีการศึกษา ๒๕๑๙

บทคัดย่อ

ในการวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริก (κ) ของสารตัวอย่างโดยใช้ไมโครเวฟในแถบความถี่ ๘.๕ - ๙.๙ จิกะเฮิทซ์ ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของโพลีเอทธิลีนซึ่งเป็นของแข็งที่ไม่ดูดกลืนพลังงาน เมื่อวัดโดยใช้โพรงอภินาทกลมขนาดต่างๆกันได้ค่า κ = ๒.๓๒ ± ๐.๐๑ และเมื่อวัดโดยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ผิวของโพลีเอทธิลีนที่มีความหนาต่างๆกันซึ่งบรรจุอยู่ในท่อนำคลื่นได้ค่า κ = ๒.๒๗ ± ๐.๐๔ สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่ไม่ดูดกลืนพลังงานคือเฮพเทนและคาร์บอนเทตตระคลอไรด์ โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนพบว่า ในกรณีของเฮพเทนได้ค่า κ = ๑.๙๘ ± ๐.๑๐ และในกรณีของคาร์บอนเทตตระคลอไรด์ได้ค่า κ = ๒.๑๕ ± ๐.๑๑ ส่วนสารตัวอย่างที่ดูดกลืนพลังงานคือเอทธิลีน ไกลคอล และ น้ำ ซึ่งเมื่อวัดโดยวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเช่นเดียวกัน ของเฮพเทนได้ค่า κ = ๑๐.๔๕ ± ๐.๕๔ และของน้ำได้ค่า κ = ๖๓.๕๐ ± ๓.๒๖ จากค่า κ ทั้งสองนี้พบว่าในกรณีของเอทธิลีน ไกลคอล มีเวลาการผ่อนคลายของไดโพลถาวรประมาณ ๖×๑๐^{-๑๑} วินาที ของน้ำมีเวลาการผ่อนคลายประมาณ ๑×๑๐^{-๑๑} วินาที

Thesis Title Dielectric Constant Measurements at Various Frequencies

Name Lt. Ruangsak Kaewharn, Department of Physics

Academic Year 1976

Abstract

The dielectric constants (κ) of materials were measured by using microwave at frequency range 8.5 to 9.9 GHz. For the lossless materials, the dielectric constants of polyethylene are measured by using circular resonant cavity of different sizes. The value of κ is 2.32 ± 0.01, and by measuring the reflection coefficient of microwave at the surface of polyethylene gives $\kappa = 2.27 \pm 0.04$. The dielectric constants of the lossless liquid samples such as heptane and carbontetrachloride, are also obtained by measuring the reflection coefficients of the incident microwave at the surface of the samples, the results are 1.98 ± 0.10 for heptane and 2.15 ± 0.11 for carbontetrachloride. For lossy materials, ethylene glycol and water are performed by measuring their reflection coefficients yield $\kappa = 10.45 \pm 0.54$ for ethylene glycol and $\kappa = 63.50 \pm 3.26$ for water. From these two values of κ, the relaxation times of the permanent dipole are estimated to be 6×10^{-11} second for ethylene glycol and 1×10^{-11} second for water.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช ซึ่งให้การปรึกษา คำแนะนำ และตลอดจนให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอขอบพระคุณท่านไว้ ณ ที่นี้

ในระหว่างการวิจัยกำลังดำเนินอยู่ อุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องมือบางอย่างได้เกิดชำรุดเสียหายใช้การไม่ได้ ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์จากท่านหัวหน้ากองวิชาเทคนิค โรงเรียนนายเรืออากาศ คือ น.อ.(พิเศษ) สมโพธิ ปัญญาสุข ที่กรุณาอนุญาตให้ยืมรีเฟลกซ์ไคลสตรอนมาใช้ในการวิจัย และอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับสารตัวอย่างที่จะต้องใช้ในการวิจัยช่วงสุดท้าย คือเอทธิลีน ไกลคอล ก็ได้รับความอนุเคราะห์จากท่านศาสตราจารย์ ดร.เทพ เชียงทอง แผนกเคมี จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณท่านทั้งสองเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบคุณ คุณกิรณันต์ นิสิตปริญญาโทแผนกวิชาฟิสิกส์รุ่นปี พ.ศ. ๒๕๑๗ ที่ได้กรุณาสละเวลาในการช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อนึ่ง เนื่องจากผู้เขียนเป็นข้าราชการสังกัดกองทัพอากาศ จึงขอขอบพระคุณท่านผู้บังคับบัญชาทั้งที่โดยตรงและตลอดจนนายทหารชั้นผู้ใหญ่ที่เกี่ยวข้อง ที่กรุณาอนุญาตให้ผู้เขียนลามาศึกษาต่อได้

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ฆ
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
บทที่	
๑. บทนำ	๑
๑.๑ ความหมาย	๑
๑.๒ จุดมุ่งหมาย	๒
๑.๓ การดำเนินการวิจัย	๒
๑.๔ คุณสมบัติของไดอิเลคตริกในทางฟิสิกส์	๓
๒. ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครเวฟ	๑๑
๒.๑ คำนำ	๑๑
๒.๒ สมการของแมกซ์เวลล์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในท่อนำคลื่น	๑๒
๒.๓ สนามไฟฟ้าตามขวาง	๑๔
๒.๔ คลื่นไฟฟ้าตามขวางในท่อนำคลื่นรูปเหลี่ยม	๑๖
๒.๕ โมดเด่น TE_{10} หรือ H_{10}	๒๐
๒.๖ โพรงอภินาทกลมหรือโพรงกลม	๒๒
๒.๗ การสะท้อนของคลื่นออกจากไดอิเลคตริกที่ปลายของท่อนำคลื่นสั้น	๒๗
๒.๘ การสะท้อนที่ผิวหน้าของไดอิเลคตริกและไดอิเลคตริกมีการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	๓๑
๓. ส่วนต่างๆของเครื่องมือและหลักการบางอย่าง	๓๕
๓.๑ รีเฟลคซ์ไคลสตรอน	๓๕
๓.๒ เวฟมิเตอร์	๓๗
๓.๓ แอทเทนูเอเตอร์	๓๙
๓.๔ แมจิกที	๔๐

บทที่ หน้า

๓.๕ ตัวตรวจวัดคลื่นสถิต ๔๑
๓.๖ ทฤษฎีของสายส่ง ๔๓
๓.๗ การแทนท่อนำคลื่นด้วยทฤษฎีของสายส่ง ๔๗
๓.๘ วงจรสมมูลย์ของโพรงอภินาท ๕๐
๓.๙ แผนภูมิสมิธ ๕๔
๔. การสร้างอุปกรณ์บางอย่าง การเตรียมสารตัวอย่าง และการวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารตัวอย่าง ๕๗
๔.๑ การสร้างโพรงอภินาทรูปทรงกระบอก ๕๗
๔.๒ การสร้างท่อสั้น ๖๐
๔.๓ การเตรียมสารตัวอย่าง ๖๐
๔.๔ การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ๖๑
๔.๔.๑ โดยการใช้โพรงอภินาทกลมหรือโพรงกลม ๖๑
๔.๔.๒ โดยการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน ๗๔
๔.๕ การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกของสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว ๘๒
๔.๕.๑ โดยใช้แมจิกที ๘๒
๔.๕.๒ โดยการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน ๘๕
๕. สรุปและวิจารณ์ ๙๐
บรรณานุกรม ๙๖
ประวัติการศึกษา ๙๗

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
๔.๑	ค่า DP ของโพรงกลม a = ๑.๗๔๔ ซ.ม. L = ๑.๘๗๕ ซ.ม. ซึ่งบรรจุด้วยเพล็คซิกลาส	๖๓
๔.๒	ค่าต่างๆที่ได้จากการใส่โพลีเอทธิลีนเข้าไปในโพรงกลม a = ๑.๗๔๔ ซ.ม. L = ๑.๘๗๕ ซ.ม.	๖๓
๔.๓	ค่า G และ B ที่ความถี่ต่างๆสำหรับโพรงกลม a = ๑.๗๔๔ ซ.ม. L = ๑.๘๗๕ ซ.ม.	๖๕
๔.๔	ค่า DP ของโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม. L = ๒.๕ ซ.ม. ซึ่งเป็นโพรงกลมที่ว่างเปล่า	๖๘
๔.๕	ค่าต่างๆที่ได้จากการใส่โพลีเอทธิลีนในโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม. L = ๒.๕ ซ.ม.	๖๘
๔.๖	ค่า G และ B ที่ความถี่ต่างๆสำหรับโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม. L = ๒.๕ ซ.ม.	๗๑
๔.๗	ค่าคงที่ไดอิเลคตริก κ ของโพลีเอทธิลีน โดยการใช้โพรงกลมขนาดต่างๆกัน	๗๓
๔.๘	ค่า A ที่ได้จากการเปลี่ยนค่า β_2 ที่ f = ๘.๗๖๖๒ จิกะเฮิทซ์ d = ๐.๖๔๘ ซ.ม. λ = ๕.๒๔ ซ.ม. β_1 = ๑.๑๔๔๑ ซ.ม.$^{-1}$ ..	๗๖
๔.๙	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของโพลีเอทธิลีนที่มีความหนา ๐.๖๔๘ ซ.ม. ที่ค่าความถี่ต่างๆ	๗๘
๔.๑๐	ค่า A ที่ได้เมื่อแปรค่า β_2 ที่ค่าความถี่ f = ๙.๓๓๖๒ จิกะเฮิทซ์ ..	๗๙
๔.๑๑	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของโพลีเอทธิลีนที่มีความหนา ๑.๐๐ ซ.ม. ที่ค่าความถี่ต่างๆ	๘๑
๔.๑๒	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของโพลีเอทธิลีนที่มีความหนา ๓.๓๘๑ ซ.ม. ที่ค่าความถี่ต่างๆ	๘๑
๔.๑๓	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของเฮพเทนที่ค่าความลึกและค่าความถี่ต่างๆ	๘๔

ตารางที่ หน้า

๔.๑๔ ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของคาร์บอนเทตระคลอไรด์ ที่ความลึกและค่าความถี่ต่างๆ ๘๔
๔.๑๕ ค่าคงที่ไดอิเลคตริกของเอทธิลีน ไกลคอลที่ความถี่ต่างๆกัน ... ๘๕
๕.๑ ค่า ε ของโพลีเอทธิลีนโดยการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน ๙๑
๕.๒ ค่า ε ของน้ำ ๙๓
๕.๓ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า ε ของน้ำเมื่อ τ เปลี่ยนค่าไป ๙๔

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
๑.๑	นอนโพลา โมเลกุล	๔
๑.๒	โพลา โมเลกุล	๔
๑.๓	โพลาไรเซชัน	๔
๑.๔	ส่วนจริง(κ')และส่วนจินตภาพ(κ'')ที่เป็นฟังค์ชันของความถี่	๕
๒.๑	ท่อเหลี่ยม	๑๖
๒.๒	เส้นแรงแม่เหล็กและเส้นแรงไฟฟ้าของโมด TE_{10} ในท่อเหลี่ยม	๒๑
๒.๓	โพรงกลม	๒๓
๒.๔	แสดงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโมด TE_{101} ที่ผิวในของโพรงอภินาท	๒๕
๒.๕	(ก) แสดงโพรงอภินาทด้านหน้า (ข) ด้านข้างของโพรงอภินาทและต่อเชื่อมอยู่กับท่อนำคลื่น	๒๖
๒.๖	ไดอิเลคตริกบรรจุอยู่ที่ปลายท่อนำคลื่นซึ่งมีฝาปิด	๒๗
๒.๗	ตำแหน่งความเข้มสนามไฟฟ้ามากที่สุดอันแรกที่ถัดจากไดอิเลคตริก	๓๐
๒.๘	การสะท้อนของไมโครเวฟที่ผิวของไดอิเลคตริกที่ยาวมาก	๓๑
๓.๑	รีเฟลคซ์ ไคลสตรอน	๓๖
๓.๒	เวฟมิเตอร์	๓๘
๓.๓	แอทเทนูเอเตอร์	๓๙
๓.๔ก	แมจิกที	๔๐
๓.๔ข	สนามไฟฟ้าในแมจิกทีเมื่อโมด TE_{10} ป้อนเข้าทางแขนชันท์	๔๑
๓.๕	ตัวตรวจวัดคลื่นสถิต	๔๒
๓.๖	วงจรของสายส่งในความยาวหนึ่งเมตร	๔๓
๓.๗	ปลายของสายส่งสิ้นสุดที่ Z_L	๔๖
๓.๘	วงจรช่องเดียว	๔๙
๓.๙	(ก) แสดงรูต่อรัศมี r_0 ของโพรงเหลี่ยม (ข) วงจรสมมูลย์ของโพรงอภินาท	๕๑

รูปที่ หน้า

๓.๑๐ แผนภูมิสมิธ ๕๖

๔.๑ โพรงอภินาท (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง ๕๙

๔.๒ ท่อสั้น ๖๐

๔.๓ คลื่นสถิตในท่อนำคลื่นซึ่งต่อไว้ด้วยโพรงอภินาท ๖๒

๔.๔ การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริกโดยใช้โพรงอภินาท ๖๒

๔.๕ ค่า DP ที่ความถี่ต่างๆของโพรงกลมเมื่อบรรจุไว้ด้วยเพล็คซิกลาส
a = ๑.๗๔๔ ซ.ม. L = ๑.๘๗๕ ซ.ม. ๖๔

๔.๖ แผนภูมิสมิธของโพรงกลม a = ๑.๗๔๔ ซ.ม. L = ๑.๘๗๕ ซ.ม. .. ๖๖

๔.๗ B เป็นฟังค์ชันของ f สำหรับโพรงกลม a = ๑.๗๔๔ ซ.ม.
L = ๑.๘๗๕ ซ.ม. ๖๗

๔.๘ ค่า DP ที่ความถี่ต่างๆของโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม. L = ๒.๕ ซ.ม. ๖๙

๔.๙ แผนภูมิสมิธของโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม. L = ๒.๕ ซ.ม. ๗๐

๔.๑๐ B เป็นฟังค์ชันของ f สำหรับโพรงกลม a = ๑.๔๐๘ ซ.ม.
L = ๒.๕ ซ.ม. ๗๒

๔.๑๑ การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผิวของไดอิเลคตริกที่ไม่มีการดูด
กลืนพลังงาน ๗๕

๔.๑๒ A ที่เป็นฟังค์ชันของ β_2 โดยใช้ความถี่ ๘.๗๗๖๒ จิกะเฮิทซ์ ๗๗

๔.๑๓ A เป็นฟังค์ชันของ β_2 ที่ค่าความถี่ ๙.๓๓๖๒ จิกะเฮิทซ์ ๘๐

๔.๑๔ การวัดโดยใช้แมจิกที ๘๓

๔.๑๕ แสดงการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน ๘๗

๔.๑๖ การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผิวของไดอิเลคตริกที่ดูดกลืนพลังงาน ๘๘