บทที่ ๒
การวัดค่าคงที่ฉนวนที่ความถี่แสง

๒.๑ บทนำ

ในการศึกษาเวลาผ่อนคลาย τ ของสารไดอิเลคตริก โดยอาศัยสมการ (๑.๔.๒๔)

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \left(\frac{1}{\omega\tau}\right)\epsilon'' \qquad (๒.๑.๑)$$

และโมเมนต์ของไดโพลถาวรทางไฟฟ้า μ ของสารไดอิเลคตริก โดยอาศัยสมการ (๑.๖.๑๕)

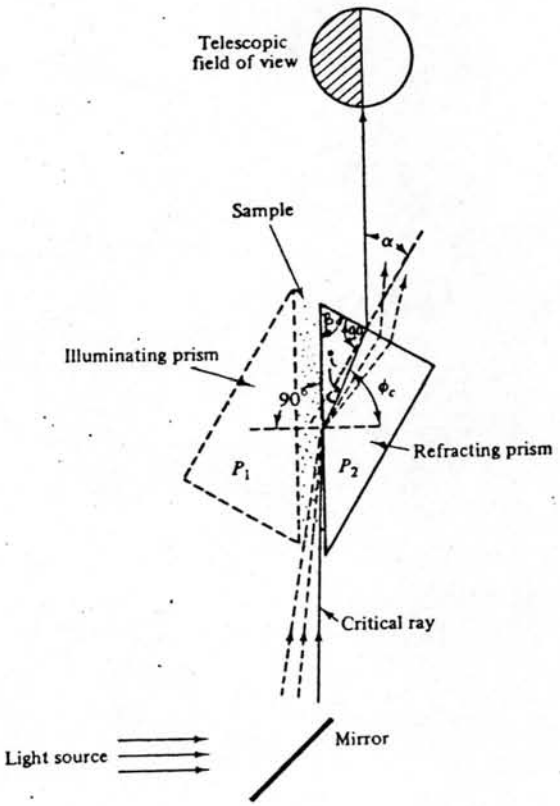
$$\mu = \frac{9kT}{4\pi N}\left(\frac{3}{(\epsilon_1+2)(n_1^2+2)}\right)\left[\frac{d\Delta}{dc}\right]_{c\to 0} \qquad (๒.๑.๒)$$

เราต้องทราบค่าต่าง ๆ กล่าวคือ ϵ' , ϵ'' ซึ่งเราหาได้โดยอาศัยการหาสัมประสิทธิการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟในท่อนำคลื่น (จะได้กล่าวต่อไปโดยละเอียดในบทต่อไป) ส่วน ϵ_∞ หาได้โดยอาศัยสมการ (๑.๔.๘) ซึ่งอาศัยทฤษฎีของแมกเวลล์โดยรายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวกที่ ๒ ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการวัดค่า ϵ_∞ นี้

๒.๒ การวัดค่าดรรชนีหักเหของสาร[๘]

การหาค่าดรรชนีหักเหของสารที่เป็นของเหลวมีอยู่ด้วยกันหลาย ๆ วิธี ถ้าของเหลวนั้นไม่ทึบแสงมากนัก เราอาจหาค่าดรรชนีหักเหโดยตรงโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเคลื่อนที่ (traveling microscope) แต่วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนมาก เราอาจหาค่าดรรชนีหักเหของสารที่เป็นของเหลวโดยอาศัยรีแฟรกโตมิเตอร์ (refractometer) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่แบบที่ใช้ทดลองเป็นแบบ แอบรีแฟรกโตมิเตอร์ (Abbérefractometer) เครื่องมือนี้อาศัยหลักของ มุมวิกฤตรีแฟรกเตอร์มิเตอร์ (critical angle refractometer) ซึ่งประกอบด้วยปริซึมสองอัน คือ P_1 และ P_2 ดังแสดงในรูป (๒.๒.๑) โดยที่ P_2 เรียกว่าปริซึมหักเห (refracting prism) และ P_1 เป็นปริซึมกระจายแสง (illuminating prism) แสงที่สะท้อนจากกระจกเงา M ผ่านเข้ามาในช่องระหว่าง P_1 และ P_2 ซึ่งบรรจุสารที่เป็นของเหลวที่ต้องการจะวัดดรรชนีหักเห ซึ่งเป็นฟิล์มบาง ๆ หนาเพียง ๐.๑ มิลลิเมตรเท่านั้น แสงจะเฉียดผิวของปริซึม P_2 แล้วเกิดการหักเห

ผ่าน P_2 โดยทำมุมต่าง ๆ กัน ให้มุม ϕ_c เป็นมุมที่แสงหักเหได้มากที่สุด เรียกมุมนี้ว่ามุมวิกฤต ซึ่งเป็นมุมที่เกิดจากรังสีของแสงซึ่งมีมุมกระทบเท่ากับมุมฉากจากตัวกลางที่มีครรชนีหักเห (n_s) น้อยกว่าไปยังตัวกลางที่มีครรชนีหักเห (n_p) มากกว่า เพื่อสะดวกในการทดลองเราให้แสงสีเดียวผ่าน (เนื่องจากแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจะหักเหต่างกันด้วย) เราใช้แสงที่เกิดจากโซเดียม ดังนั้นพิจารณาจากรูป (๒.๒.๑) จะได้ว่าภาพที่ปรากฏในกล้องจุลทรรศน์จะมีลักษณะบริเวณมืดและบริเวณสว่าง



<u>รูปที่ ๒.๒.๑</u> แสดงมุมวิกฤตรีแฟรกโตมิเตอร์

ถ้าให้ n_s เป็นครรชนีหักเหของสาร

n_p เป็นครรชนีหักเหของปริซึม มีค่าประมาณ ๑.๔

β เป็นมุมยอดของปริซึม

i เป็นมุมตกกระทบของแสงในหน้าที่สองของปริซึม

ϕ_c เป็นมุมวิกฤต

α เป็นมุมหักเหในหน้าที่สองของปริซึม

จากกฎของสเนล (Snell's law) จะได้ว่า

หน้าที่หนึ่งของปริซึม

$$n_s \sin 90 = n_p \sin \phi_e$$

$$\sin \phi_e = \frac{n_s}{n_p} \qquad (๒.๒.๑)$$

หน้าที่สองของปริซึม

$$\sin \alpha = n_p \sin i \qquad (๒.๒.๒)$$

จากการพิจารณา

$$i = \phi_e - \beta \qquad (๒.๒.๓)$$

แทนสมการ (๒.๒.๓) ลงใน (๒.๒.๒)

$$\sin \alpha = n_p \sin (\phi_e - \beta)$$

$$= n_p \{ \sin \phi_e \cos \beta - \cos \phi_e \sin \beta \}$$

$$= n_p \{ \sin \phi_e \cos \beta - \sqrt{1 - \sin^2 \phi_e} \sin \beta \} \qquad (๒.๒.๔)$$

แทนสมการ (๒.๒.๑) ลงใน (๒.๒.๔)

$$\sin \alpha = n_p \left\{ \frac{n_s}{n_p} \cos \beta - \sqrt{1 - \frac{n_s^2}{n_p^2}} \sin \beta \right\}$$

$$= n_s \cos \beta - \sqrt{n_p^2 - n_s^2} \sin \beta$$

$$\therefore \quad \sqrt{n_p^2 - n_s^2} = n_s \cot \beta - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$n_p^2 - n_s^2 = n_s^2 \cot^2\beta - 2n_s \cot\beta \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} + \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta} \qquad (๒.๒.๕)$$

จากสมการ (๒.๒.๕) จัดเทอมใหม่ได้

$$n_s^2 - (2\cos\beta \sin\alpha)n_s - (n_p^2 \sin^2\beta + \sin^2\alpha) = 0 \qquad (๒.๒.๖)$$

จากสมการ (๒.๒.๖) เราสามารถหาค่า n_s ได้ดังนี้

$$n_s = \cos\beta \sin\alpha + \sqrt{\cos^2\beta \sin^2\alpha + n_p^2 \sin^2\beta + \sin^2\alpha} \qquad (๒.๒.๗)$$

ดังนั้นจากสมการ (๒.๒.๗) ถ้าเราทราบค่า α, β, n_p เราก็จะสามารถหาค่าดรรชนีหักเหของสารตัวอย่างได้ ซึ่งจะเห็นว่า β ซึ่งเป็นมุมยอดของปริซึมจะมีค่าคงที่ n_p เป็นดรรชนีหักเหของแก้วที่ทำเป็นปริซึมมีค่าเท่ากับ ๑.๔ ดังนั้น n_s จึงขึ้นอยู่กับมุม α ซึ่งสามารถวัดได้ เราอาจปรับปรุงมุมวิกฤตรีแฟรกโตมิเตอร์ โดยแทนที่จะให้แสงผ่านเฉียด P_2 ซึ่งอาจทำให้ไม่แน่นอน เราให้แสงผ่าน P_1 ซึ่งทำหน้าที่หักเหแสงตกกระทบแล้วให้แสงที่ออกจาก P_1 นั้นเฉียดไปบนระนาบของ P_2 ทำให้เกิดมุมวิกฤตเหมือนวิธีแรกซึ่งจะได้ค่าที่แน่นอน

๒.๓ ส่วนประกอบของแอบบีรีแฟลกโตมิเตอร์

มีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

๒.๓.๑ ปริซึมสองอันคือ

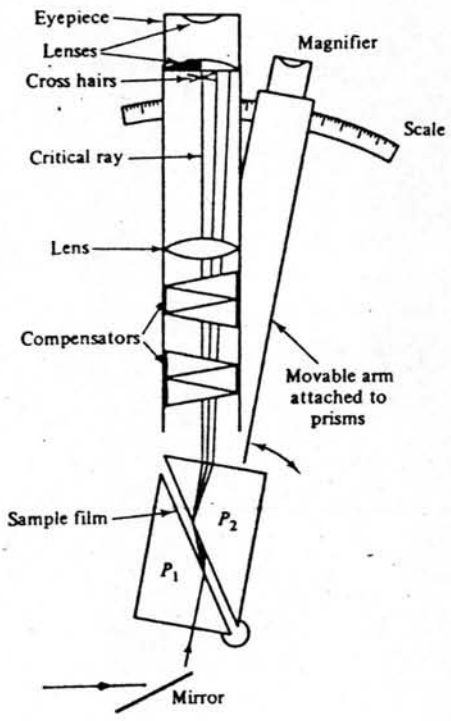
ก. ปริซึมหักเหแสง P_2

ข. ปริซึมกระจายแสง P_1 เป็นส่วนช่วยให้แสงหักเหขนาดกับ P_2 เป็นรังสีวิกฤต (critical ray) ซึ่งทำให้เกิดมุมวิกฤต (critical angle) เราจึงเรียกปริซึมนี้ว่าปริซึมช่วย (auxilliary prism)

๒.๓.๒ ปริซึมแยกแสง(Compensater prism) เป็นปริซึมที่ทำหน้าที่แยกแสงความถี่เดียว (monochromatic light) จะได้แสงสีที่ต้องการจากแสงสีขาว ในกรณีที่แสงที่ใช้เป็นแสงสีขาว

๒.๓.๒ กระจกสะท้อนแสงทำหน้าที่สะท้อนแสงจากจุดกำเนิดให้เข้าสู่ปริซึม

๒.๓.๔ กล้องจุลทรรศน์เป็นตัวสังเกตตำแหน่งของรังสีวิกฤต ในการวัดจักให้รอยต่อของบริเวณมืดกับบริเวณสว่างตรงกับเส้นกากบาท (cross wire) ในตัวกล้องพอดี การปรับหาตำแหน่งดังกล่าวเราหมุนแขน (movable arm) ซึ่งติดอยู่กับปริซึม P_1 และ P_2 จนกระทั่งพบมุมวิกฤตดังแสดงในรูป (๒.๒.๒) จากนั้นเราสามารถอ่านมุม α ได้ แต่สเกลจะถูกปรับให้อ่านเป็นค่าของดรรชนีหักเหของสารได้โดยตรง



รูปที่ ๒.๒.๒ แสดงแอบบีรีแฟรกโตมิเตอร์

แอบบีรีแฟรกโตมิเตอร์ ได้ออกแบบสำหรับวัดค่าดรรชนีหักเหของของเหลวโดยที่ใส่สารระหว่าง P_1 และ P_2 ซึ่งพับได้ทำให้สารเป็นฟิล์มบาง ๆ หนาประมาณ ๐.๑ มิลลิเมตร เครื่องมือนี้วัดค่าดรรชนีหักเหระหว่าง ๑.๓ ถึง ๑.๗ ค่าดรรชนีหักเหที่จักได้จากเครื่องมือนี้จะมีความแม่นยำมาก สามารถอ่านได้ทศนิยมถึง ๔ ตำแหน่ง มีความผิดพลาด ๐.๐๐๐๑ เท่านั้น

โดยใช้เครื่องมือนี้วัดค่าดรรชนีหักเหของสารที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

เบนซิน (benzene) C_6H_6 = ๑.๘๘๘

MBBA in benzene ๐.๐๐ mole fraction = ๑.๘๐๑๔

EBBA in benzene ๐.๐๐ mole fraction = ๑.๘๘๘๑

โดยใช้สมการ (๒.๒.๗) เราหาค่าคงที่ฉนวนของไดอิเลคตริกที่ความถี่แสง (ϵ_∞) ได้ดังนี้

เบนซิน (benzene) C_6H_6 = ๒.๒๑๘๘ (๒.๒.๘)

MBBA in benzene ๐.๐๐ mole fraction = ๒.๒๘๘๗ (๒.๒.๙)

EBBA in benzene ๐.๐๐ mole fraction = ๒.๒๘๗๓ (๒.๒.๑๐)