

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธีระพนธ์ แยมวงษ์. การวัดสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กทริกของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ที่ความถี่ต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัย, 2537.
- พลผลุง ผดุงกุล. ไตรแอกและเอสซีอาร์ ตอนที่ 2. เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. 92 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2532) : 271.
- พิสิทธ์เซนเตอร์, ออป-แอมป์ 741. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์พิสิทธ์เซนเตอร์, ม.ป.ป.
- วัฒนา เฉชนะ. การวัดสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กทริกของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

- Bhateja, S.K. and Gilbert, J.R., Increase in Crystallinity in Poly (vinylidene Fluoride) by Electron Beam Radiation. J. Polym. Sci. Part B. 25 (1987) : 717-722.
- Broodhurst, G., Martin, Davis, G.T. and McKinney, J.E., Piezoelectricity and Pyroelectricity in Polyvinylidene Fluoride - A model. J. Appl. Phys. 49 (October 1978) : 4992-4997.
- Chung, K.T., Newman, B.A., Scheinbeim, J.I. and Pae, K.D., The pressure and temperature dependence of Piezoelectric and Pyroelectric response of poled unoriented phase I Poly (vinylidene Fluoride). J. Appl. Phys. 53 (October 1982) : 6557-6562.
- Creswell, R.A., Perlman, M.M. and Kabayama, M.A., The Electret properties of a Series of Corona-Charged substituted Polyolefins. Dielectric properties of Polymers. New York : Plenum Press, 1972.
- Das-Gupta, D.K. and Doughty, K., Pyroelectric transient response of Polyvinylidene Fluoride. J. Appl. Phys. 51 (March 1980) : 1733-1737.
- Davie, G.R. and Ward, I.M., Primary and secondary pyroelectricity in highly oriented Polyvinylidene Fluoride. J. Polym. Sci. Part B. 26 (1988) : 127-140.
- Frohlich, H., Theory of Dielectrics. London : Oxford University Press, 1958.
- Goldstein, Herbert, Classical Mechanics. Massachusetts : Addison-Wesley, 1972.
- Kittel Charles, Introduction to Solid State Physics. 3rd ed. New York : John Wiley & Son, 1966.

- Lynn, E., Garn and Edward, J., Sharp, Using of low frequency sinusoidal temperature wave to separate pyroelectric currents from nonpyroelectric currents. Part I : Theory. J. Appl. Phys. 53 (December, 1982) : 8974-8979.
- _____, Garn and Edward, J., Sharp, Using of low frequency sinusoidal temperature wave to separate pyroelectric currents from nonpyroelectric currents. Part II : Experiment. J. Appl. Phys. 53 (December, 1982) : 8980-8987.
- Matin, M., Perlman, Thermal currents and the internal polarization in carbuna wax electrets. J. Appl. Phys. 47 (June 1971) : 2645-2652).
- Mopsik, I., Frederick and Broadhurst, G., Martin, Molecular dipole electrets. J. Appl. Phys. 46 (October 1975) : 4204-4208.
- Mort, J. and Pfister, G., Electronic properties of Polymers. New York : John Wiley & Sons, 1982.
- Nye, J.F., Physical properties of crystals. London : Oxford University Press, 1966.
- Pfister, G., Abkowitz, M. and Crystal, R.G., Pyroelectricity in Polyvinylidene Fluoride. J. Appl. Phys. 44 (May 1973) : 2064-2071.
- Reitz, R., John and Milford, J., Frederick, Foundations of Electromagnetic Theory. Massachusetts : Addison-Wesley, 1962.
- Sessler, G.M., Piezoelectricity in Polyvinylidene Fluoride. J. Acoust Soc. Am. 70 (December 1981) : 1596-1608.
- Sussner, H., Harn, D.E. and Yoon, D.Y., A new method for determining the Pyroelectric coefficient of thin Polymer films using Dielectric Heating. Appl. Phys. Lett. 32 (February 1978) : 137-139.
- Wada, Y. and Hayakawa, R., Piezoelectricity and Pyroelectricity of Polymers. Jpn. J. Appl. Phys. 15 (November 1976) : 2041-2056.
- Wang, T.T., Herbert, J.M. and Glass, A.M., The Applications of Ferroelectric Polymers. Glasgow : Blackie and Son, 1988.

ภาคผนวก ก

เมื่อมีแรงกระทำต่อฟิล์ม จะเกิดความเค้นขึ้นในเนื้อสาร ถ้าออกแรงกระทำในทิศ k เท่ากับ F_k จะเกิดความเค้นเฉือนและความเค้นตั้งฉากขึ้นในทิศทางทั้งสาม คือ $X_{k\ell}$

$$\text{ซึ่ง } X_{k\ell} = \frac{F_k}{A_\ell}$$

$$\text{โดย } k, \ell = 1, 2, 3$$

X_{11}, X_{22}, X_{33} คือ ความเค้นตั้งฉาก

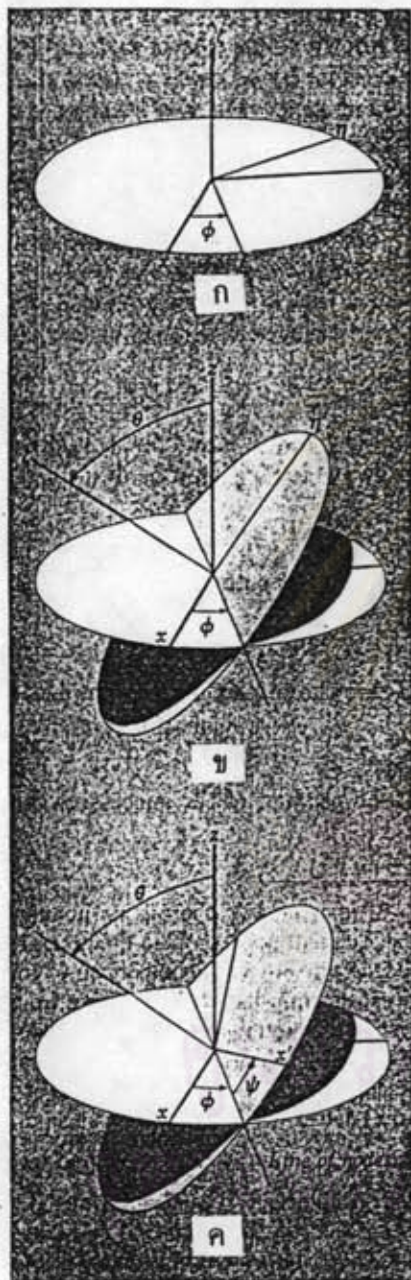
$X_{12}, X_{13}, X_{21}, X_{23}, X_{31}, X_{32}$ คือ ความเค้นเฉือน

เนื่องจาก $X_{23} = X_{32}$ จึงเขียนแทนด้วยตัวแปรใหม่ คือ $\frac{X_4}{2}$ เป็นการลดรูปเทนเซอร์ระดับที่ 2 (9 องค์ประกอบ) ให้เป็นเมตริกซ์ (6 องค์ประกอบ) ในทำนองเดียวกันสำหรับตัวแปรอื่น ๆ สามารถใช้สัญลักษณ์เมตริกซ์แทนสัญลักษณ์เทนเซอร์ได้ ดังนี้

สัญลักษณ์เทนเซอร์	11	22	33	23, 32	31, 13	12, 21
สัญลักษณ์เมตริกซ์	1	2	3	4	5	6
ดังนั้นสำหรับเทนเซอร์	$X_{k\ell} ; k, \ell = 1, 2, 3$					
จึงเขียนแทนด้วยเมตริกซ์	$X_i ; i = 1, 2, \dots, 6$					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข



รูปที่ 1 แสดงมุมออยเลอร์

การแปลงจากพิกัดฉาก (cartesian coordinate) ไปเป็นพิกัดใหม่โดยอาศัยมุมออยเลอร์ [Goldstein, 1972] ซึ่งเป็นการหมุนรอบแกน 3 ครั้ง ดังนี้

1. จากพิกัดเริ่มต้น xyz หมุนรอบแกน z ในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยมุม Φ ทำให้พิกัด xyz เปลี่ยนไปเป็น $\xi\eta\zeta$ ดังรูป 1 ก

2. หมุนพิกัด $\xi\eta\zeta$ รอบแกน ξ ในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยมุม θ จะได้พิกัดใหม่ คือ

$\xi'\eta'\zeta'$ ดังรูป 1 ข

3. หมุนโคออร์ดิเนต $\xi'\eta'\zeta'$ รอบแกน ζ' ในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยมุม ψ ในที่สุดจะได้พิกัด $x'y'z'$ ดังรูป 1 ค

สมการซึ่งแปลง Coordinate ของจุดใด ๆ ในพิกัด $x'y'z'$ ให้มาอยู่ในพิกัด xyz แสดงอยู่ข้างล่างนี้

(Φ ในรูปที่ 2.3.2 คือ ϕ ในภาคผนวกนี้)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \phi - \cos \theta \sin \phi \sin \psi & -\sin \psi \cos \phi - \cos \theta \sin \phi \cos \psi & \sin \theta \sin \phi \\ \cos \psi \sin \phi + \cos \theta \cos \phi \sin \psi & -\sin \psi \sin \phi + \cos \theta \cos \phi \cos \psi & -\sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \psi & \sin \theta \cos \psi & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

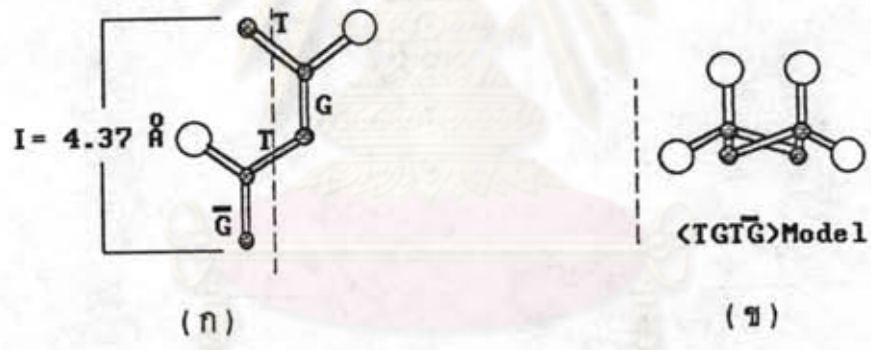


ภาคผนวก ค

โครงสร้างของ PVDF

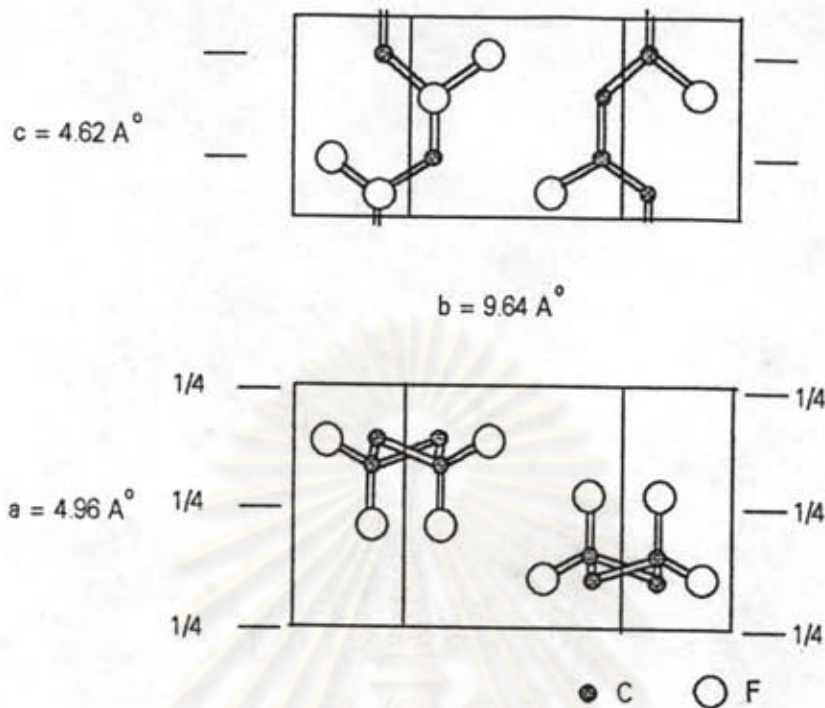
พอลิเมอร์ PVDF มีชื่อเต็มว่า พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride) ประกอบด้วยโมโนเมอร์ - CH₂CF₂ - ต่อกันเป็นโซ่ยาว [ธีระพนธ์ แยมวงษ์, 2537]

ที่อุณหภูมิสูง PVDF จะหลอมเหลวและเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 150°C สารนี้จะแข็งตัวเกิดโครงสร้างแบบสเฟียรูไรท์ (spherulitic structure) ซึ่งจะมีผลึกปนอยู่ในเฟสอสัณฐาน ผลึกที่เกิดขึ้นแบบนี้จะมีโครงสร้างแบบ II (α -phase) การวางตัวของสายโซ่อะตอมคาร์บอนเป็นแบบ TGT \bar{G} ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งถ้ามองรูป (2ก) ด้านบนจะเห็นอะตอมต่าง ๆ เป็นดังรูป (2ข) โดยมีได้แสดงอะตอมของไฮโดรเจน



รูปที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่ PVDF รูปแบบ II (α -phase)

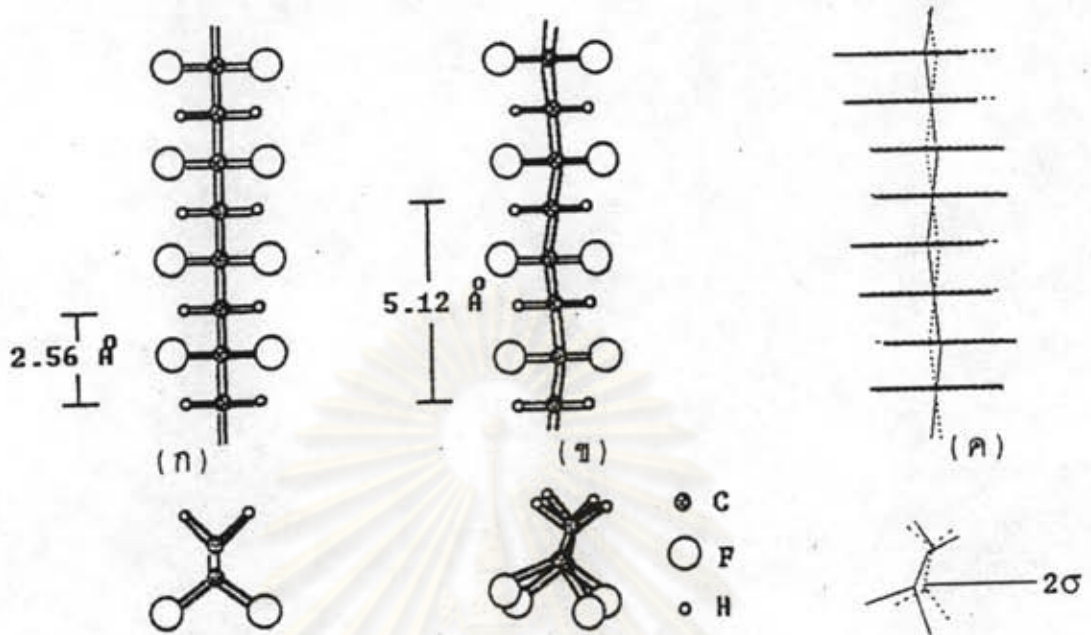
เซลล์หน่วย (unit cell) ของผลึกนี้เป็นผลึกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular lattice) ดังรูปที่ 3 แต่ละเซลล์หน่วยประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลสองสาย และเนื่องจากทิศของโมเมนต์ขั้วคู่ของทั้งสองสายมีทิศสวนกันจึงหักล้างกันหมด ทำให้ผลึกแบบ II นี้ไม่มีขั้ว ไม่สามารถแสดงสมบัติไพโรอิเล็กทริกได้



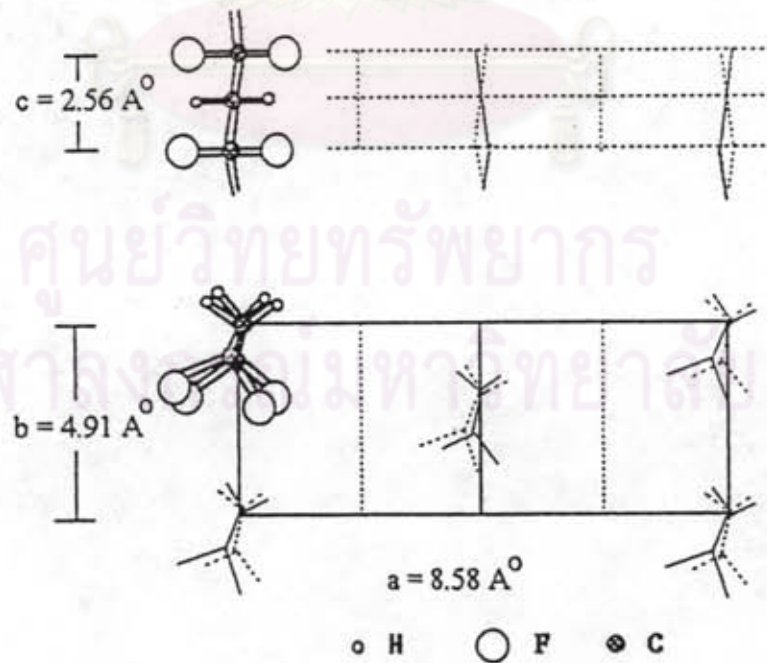
รูปที่ 3 โครงสร้างผลึกและเซลล์หน่วยของ PVDF รูปแบบ II (α -phase)

ถ้าดึงฟิล์ม PVDF ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างผลึกแบบ II ให้ยืดออกประมาณ 4-6 เท่า ที่อุณหภูมิ $80-100^{\circ}\text{C}$ สายโซ่คาร์บอนจะยืดออกไปตามแนวแรงที่ดึง โครงสร้างแบบ II จะเปลี่ยนเป็นแบบ I (β -phase) อะตอมของคาร์บอนจะวางตัวซิกแซกจะอยู่ในระนาบหนึ่งดังรูปที่ 4 ระนาบนี้ตั้งฉากกับระนาบของกระดาษ ส่วนอะตอมฟลูออรีน (F) และไฮโดรเจน (H) จะวางตัวขึ้นลงดังรูป (4ก) และจากการศึกษาอย่างละเอียดโดยรังสีเอกซ์พบว่า เนื่องจากรัศมีวงโคจรวาเลนซ์ของอะตอมฟลูออรีนเท่ากับ 1.35 \AA ซึ่งใหญ่เกินกว่าที่จะบรรจุลงในสายโซ่แบบนี้ (ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของอะตอมฟลูออรีน (F) ในรูป (4ก) เท่ากับ 2.56 \AA) อะตอมคาร์บอนจึงต้องวางตัวทำให้สายโซ่โมเลกุลบิดไปเล็กน้อยดังรูป (4ข) และ (4ค) โดยมีมุมบิดเท่ากับ 7°

เซลล์หน่วยของผลึกแบบที่ I (α -phase) แสดงในรูปที่ 5 แกนของสายโซ่คาร์บอนคือ แกน C แต่ละเซลล์หน่วยประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุล 2 สาย ซึ่งแนวแกนขนานกัน เนื่องจากอะตอม F มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบมากกว่าอะตอม C และอะตอม H มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าอะตอม C แต่ละโมโนเมอร์จะมีโมเมนต์ขั้วคู่ถาวร ทำให้ผลึกแบบ I (α -phase) นี้มีขั้ว แต่ทิศทางของโมเมนต์ขั้วคู่ในแต่ละผลึกยังมีทิศสะเปะสะปะ ทำให้โพลาริเซชันเป็นศูนย์ จะต้องผ่านการจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้า แผ่นฟิล์มที่ได้จึงจะแสดงสภาพโพโรอิเล็กทริกได้



รูปที่ 4 (ก) โครงสร้างโมเลกุลของ PVDF รูปแบบ I (β -phase)
 (ข) การบิดตัวของสายโซ่โมเลกุลเพื่อให้อะตอม F บรรจบกันได้
 (ค) มุมการบิดตัวของสายโซ่โมเลกุล



รูปที่ 5 แสดงเซลล์หน่วยของผลึก PVDF รูปแบบที่ I (β -phase)



ประวัติของผู้เขียน

นางสาวชูศรี อุทัยวศิน เกิดเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2510 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2532 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2532



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย