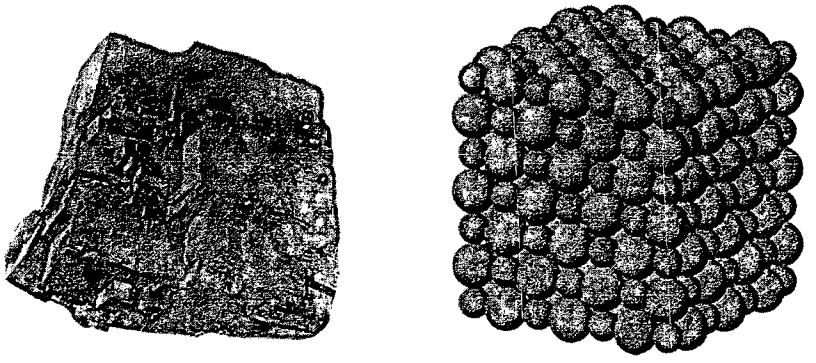
บทที่ 1

บทนำ

ผลึก สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ พบมากในการก่อตัวของหิน ยกตัวอย่างผลึกในธรรมชาติ เช่น อัญมณีชนิดต่างๆ ที่มีความสวยงาม และถูกนำมาประดับตกแต่งสิ่งของให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น หรือแม้แต่รอบตัวเรา ในรูปของน้ำตาล น้ำแข็ง และเกลือเม็ดเป็นต้น ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างของผลึกเกลือ (ซ้าย) และ การจัดเรียงตัวของอะตอมผลึกเกลือ (ขวา) โดยอะตอมขนาดใหญ่จะเป็นอะตอมของ โซเดียม (Na) และอะตอมขนาดเล็กเป็นอะตอมของ คลอไรด์ (Cl)



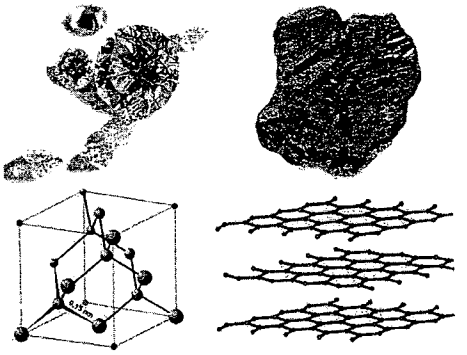
ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลึกเกลือในธรรมชาติ[1]

จุดเริ่มต้นของวิชาผลึกศาสตร์ (Crystallography) เกิดขึ้นในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 เมื่อมีการค้นพบรังสีเอกซ์ ในปี ค.ศ. 1895 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแสงพลังงานสูง ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบกับวัตถุ อะตอมในวัตถุจะทำให้รังสีเอกซ์สามารถกระเจิงได้ ซึ่งจากการกระเจิงดังกล่าวทำให้นักผลึกวิทยาสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างของผลึกต่างๆได้

นักวิทยาศาสตร์ยังศึกษาถึงพันธะเคมี ที่ดึงดูดอะตอมเข้าหากัน ตัวอย่างเช่น กราไฟท์หรือถ่านที่ทึบแสงและเปาะ กับเพชรที่โปร่งแสงและแข็งมาก สารทั้งสองนี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกัน คือ ธาตุคาร์บอนเท่านั้น การที่เพชรสามารถกระเจิงแสงได้ เกิดจากพันธะทางเคมีที่เรียงตัวเป็นระเบียบ ทำให้เพชรแวววาว ซึ่งโครงสร้างและพันธะเคมีของเพชร ได้จากการศึกษาผลึกด้วยรังสีเอกซ์ ภาพที่ 2 แสดงผลึกเพชรและโครงสร้างการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน (ซ้าย) กราไฟท์และโครงสร้างการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน (ขวา)

---

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Crystal



ภาพที่ 2 เพชรและถ่าน[2]

ผลึกศาสตร์ เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาวัสดุและผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในปัจจุบัน ตั้งแต่สิ่งที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน อาทิ หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ ไปจนถึงโทรทัศน์แบบจอแบน ส่วนประกอบยานพาหนะสมัยใหม่ รวมไปถึง ผลึกเหลว (liquid crystal) ในจอแสดงผลที่เราใช้กันอยู่ การเข้าใจในโครงสร้างของสสาร ทำให้เราสามารถใช้ความรู้นั้นปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ ที่มีคุณสมบัติดังต้องการและมีการตอบสนองที่ต่างไปได้

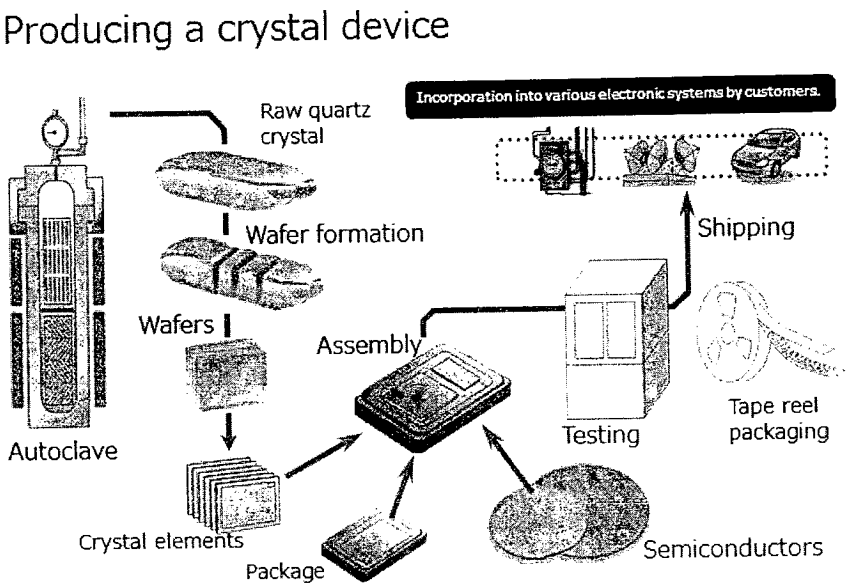
เมื่อมีความต้องการใช้ผลึกมากขึ้น จึงมีการพัฒนาการสังเคราะห์ หรือการปลูกผลึกชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ผลึกที่มนุษย์ทำขึ้น เช่น Silicon[3], GaAs, InP, CdZnTe, $LiNbO_3$ Sapphire KTP เป็นต้น และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี ในการตัด การขัด และการนำผลึกที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการไปประยุกต์ใช้งาน ทำให้มนุษย์เกิดการเรียนรู้และพัฒนาจนมาถึงปัจจุบัน ซึ่งถือได้ว่าผลึกเป็นหัวใจหลักในการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ การพัฒนาเทคโนโลยีในหลายๆ ด้านขณะนี้ ถ้าไม่มีผลึกอาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมหลายๆ ด้านคงไม่เกิดขึ้น เช่นอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ photonic และ fiber optic ความก้าวหน้าในการปลูกผลึกและเทคโนโลยี epitaxy มีส่วนสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีในหลายๆ ด้าน อาทิ การผลิต photovoltaic cells ประสิทธิภาพสูง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดพลังงานรูปต่างๆ และการ

---

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond

[3] Gengfeng Zheng, Ming Xu. Semiconducting Silicon Nanowires for Biomedical Applications, 2014, Pages 8-25

พัฒนา light emitting diodes ที่มีอายุการใช้งานนานเพื่อการประหยัดพลังงานในการให้ความสว่างและใช้เป็นไฟจราจร[4] ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ จากผลึกที่ได้จากการสังเคราะห์



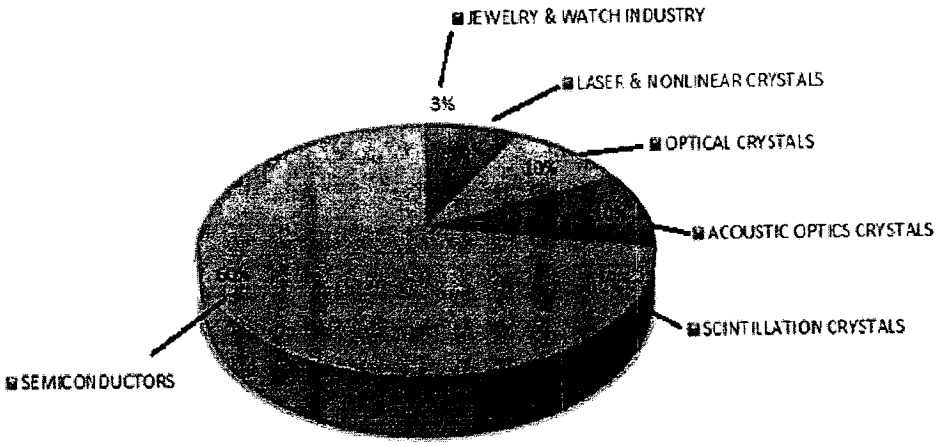
ภาพที่ 3 การนำผลึกไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ[5]

การปลูกผลึกต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญจากสาขาต่างๆ เป็นที่ทราบกันดีว่า เทคโนโลยีที่ใช้ปลูกผลึกเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงเกินขีดความสามารถของประเทศกำลังพัฒนา หรือด้อยพัฒนาที่จะพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้ขึ้นมาเองได้ อย่างไรก็ตาม ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ประเทศที่พัฒนาแล้วได้ทุ่มทุนอย่างมหาศาลในอุตสาหกรรมการปลูกผลึกในประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบเอเชีย ทำให้เกิดการตื่นตัวในวิทยาการทางด้านนี้ในหมู่นักวิจัยชาวเอเชีย โดยผลึกที่ใช้ในอุตสาหกรรมในโลกขณะนี้ส่วนใหญ่ผลิตขึ้นในเอเชีย ภาพที่ 4 แสดงปริมาณการผลิตผลึกชนิดต่างๆ ของโลกในปี ค.ศ. 2001 จากกราฟจะเห็นได้ว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของการผลึกจะเป็นสารกึ่งตัวนำ เพราะโลกกำลังมีการพัฒนาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างรวดเร็ว

---

[4] P. Ramasamy, P. Santhanaraghavan, Crystal growth processes and methods, KUR publication (2001)

[5] http://global.epson.com/innovation/technology_articles/201401_01.html



ภาพที่ 4 ปริมาณการผลิตผลึกชนิดต่างๆ ทั่วโลก[6]

เทคโนโลยีการปลูกผลึกมี 3 ลักษณะ แบ่งตามสภาพการเกิด คือ ผลึกที่เกิดการหลอมละลาย (growth from melt) ผลึกที่เกิดจากสารระเหย (growth from vapor) และผลึกที่เกิดจากการตกผลึกของสารละลาย (solution growth) ซึ่งการปลูกผลึกจากสารละลายสามารถทำได้ง่ายและใช้งบประมาณที่ไม่สูงใช้วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ กระบวนการปลูกผลึกจากสารละลายสามารถนำมาใช้ในการปลูกผลึกที่ใช้กับเลเซอร์ และผลึกเชิงทัศนศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear optic) ซึ่งมีความต้องการประมาณ 5 เปอร์เซ็นของผลึกทั้งหมด นอกจากนั้นยังสามารถปลูกผลึกที่มีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการนำมาใช้พัฒนาเทคโนโลยีวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ การประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับโฟตอนสำหรับเก็บข้อมูลและการประมวลผลภาพ

ผลึกเชิงทัศนศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น มีสมบัติในการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของแสงที่มีความเข้มสูงเมื่อแสงผ่านวัสดุดังกล่าว ทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่ผ่านเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสองเท่าได้ มีประโยชน์ในการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานของเลเซอร์ ยกตัวอย่างเช่น ผลึก Potassium dihydrogen phosephate (KDP)[7] ซึ่งมีความเหมาะสมกับระบบเลเซอร์ที่ขนาดใหญ่ เพราะผลึก KDP

---

[6] H. J. Scheel. Journal of Crystal Growth 211 (2000) 1–12.

[7] Congting Sun, Dongfeng Xue, Optical Materials, In Press, Corrected Proof, Available online 9 January 2014

สามารถปลูกให้มีขนาดใหญ่ได้ง่าย ผลึก Potassium titanyl phosphate ($KTiOPO_4$) KTP[8] เป็นผลึกเชิงทัศนศาสตร์แบบไม่เชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีความสามารถสร้างเลเซอร์สีเขียว จากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่สอง ของเอนดี แย็ก เลเซอร์ (Nd:YAG laser) ส่วนผลึกเฟอร์โรอิเล็กทริก จะมีสมบัติในการคงเหลือของไดโพลไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าจึงมีประโยชน์ในการใช้เป็นวัสดุที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ไตรไกลซีน ซัลเฟต (Triglycine sulfate, TGS)[9]

หลังจากที่มีการค้นพบผลึกเฟอร์โรอิเล็กทริกอันแรก เมื่อประมาณต้นศตวรรษที่ 20 (potassium sodium tartrate tetrahydrate)[10] ก็ทำให้เกิดการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขว้างถึงคุณสมบัติดังกล่าว รวมทั้งการสังเคราะห์ผลึกชนิดใหม่ๆ ที่มีสมบัติที่ดีขึ้นโดยเฉพาะผลึกที่เกิดจากการสังเคราะห์กับกรดอมิโนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการทำเป็นวัสดุความจำแบบไม่ลบเลือน[11] ผลึกไตรไกลซีน ซัลเฟต (Triglycine sulfate) นอกจากจะเป็นเป็นผลึกเชิงทัศนศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น แล้วยังมีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกอีกด้วย สามารถปลูกผลึก ด้วยการปลูกผลึกจากสารละลาย โดยให้ตัวทำละลายระเหยไปอย่างช้าๆ[12] อย่างไรก็ตาม การนำผลึกไตรไกลซีน ซัลเฟต มาใช้งานยังมีข้อจำกัดหลายอย่างทั้งสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงไฟฟ้า จึงต้องมีการพัฒนาสมบัติของผลึกไตรไกลซีน ซัลเฟตให้ดีขึ้น การพัฒนาสมบัติของผลึกทำได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์สารผสมชนิดใหม่ การเจือสารที่มีสมบัติที่ต้องการลงไป การปลูกผลึกแบบทิศทางเดียว[13] งานวิจัยนี้สนใจวิธีการเจือสารผสมชนิดใหม่ โดยนำสารไตรไกลซีน ซัลเฟตไปเจือกับสารชนิดอื่น และนำผลึกที่ได้ไปลูกโดยวิธีการปลูกแบบทิศทางเดียว โดยสมบัติต่างๆ ที่แสดงออกมาขึ้นอยู่กับสารที่เจือเข้าไป

จากงานวิจัยของ M. Senthil Pandian, P. Ramasamy, Binay Kumar[14] ที่ศึกษาการเปรียบเทียบการปลูกผลึกไตรไกลซีน ซัลเฟต โดยการปลูกด้วยวิธีแบบดังเดิมและการปลูกด้วยวิธีแบบทิศทางเดียว พบว่าการปลูกผลึกแบบทิศทางเดียวทำให้ได้ผลึกมีคุณภาพที่ดีขึ้นทั้งสมบัติทางด้านไฟฟ้า

---

[8] Jing Hu, Zhanggui Hu, Journal of Crystal Growth, 311 (2009) 4235-4240.

[9] H.V. Alexandru, C. Berbecaru, Materials Science in Semiconductor Processing, 5 (2002) 159-165.

[10] J. Valasek, Phys. Rev. 17 (1921) 475.

[11] M. Dawber, K.M. Rabe, and J. Scott, Rev. Mod. Phys. 77 (2005) 1083.

[12] C. Justin Raj, et al. Crystal Research Technology, 43 (2008) 245–247.

[13] Urit Charoen-in, P. Ramasamy P. Manyum, Journal of Crystal Growth, 362 (2013) 220-226.

[14] Shingo Matsumoto and Setsuo Kashkno, Acta cryst. C52 (1996) 1948.

และสมบัติทางแสง และจากยังมีการศึกษา การเจือสารต่างๆ ในผลึกไตรไกลซีน ซัลเฟต ยกตัวอย่างเช่น การเจือเอลไลซีน (L-lysine) ในผลึกไตรไกลซีนซัลเฟต[15] การเจือเอลไทโพเพน ในผลึกไตรไกลซีนซันเฟต[16] พบว่าทำให้สารที่ถูกเจือมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่ศึกษาสมบัติของผลึกโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ที่มีสมบัติทัศนศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น และสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่ำ โดยเลือกไตรไกลซีน ซัลเฟตเป็นสารเจือ และทำการปลูกผลึกของสารดังกล่าว โดยการปลูกจากสารละลายโดยวิธีการแบบดั้งเดิม และวิธีการปลูกแบบทิศทางเดียว และนำผลึกที่ได้จากการทดลองมากำหนดลักษณะเฉพาะต่างๆ

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อศึกษาการปลูกผลึกโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ที่ถูกเจือด้วยไตรไกลซีน ซัลเฟต

1.1.2 เพื่อกำหนดลักษณะเฉพาะต่างๆ ของผลึกที่ปลูกได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1 ใช้สารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เป็นสารหลักในการปลูกผลึกจากสารละลายด้วยวิธีแบบดั้งเดิม และการปลูกผลึกแบบเอสอาร์ หรือแบบทิศทางเดียว และทำการเจือด้วยสารไตรไกลซีนซัลเฟต

1.2.2 ลักษณะโครงสร้างและสัณฐานวิทยาของผลึกจะศึกษาโดยวิธีการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD)

1.2.3 หมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของผลึกจะกำหนดโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

1.2.4 สมบัติทางแสงของผลึกจะกำหนดโดยใช้เทคนิค UV-vis

1.2.5 ลักษณะสัญฐานวิทยาด้วยกันศึกษาการส่องผ่านแบบกวาด (Scanning electron microscope)

1.2.6 สมบัติไดอิเล็กทริกผลึกจะศึกษาโดยการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss)

---

[15] Genbo Su et al. Journal of Crystal Growth, Volume 209, Issue 1, 15 January 2000, Pages 220-222

[16] D. Jayalakshmi, J. Kumar. Journal of Crystal Growth, Volume 310, Issues 7–9, April 2008, Pages 1497-1500

1.2.7 การวัดสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric) กระทำโดยใช้ Sawyer-Tower circuit

1.3 สถานที่ทำงานวิจัย

1.3.1 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.3.2 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้องค์ความรู้ในการปลูกผลึกปลูกผลึกโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ที่ถูกเจือด้วยไตรไกลซีน ซัลเฟต และทราบสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลึกดังกล่าว

1.4.2 สามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการในระดับนานาชาติได้