รายการอ้างอิง

1. M. A. Contreras, B. Egaas, K. Ramanathan, J. Hiltner, A. Swartzlander, F. Hasoon, and R. Noufi, Prog. Photovolt. Res. Appl. 7(1999):300.
2. A. J. Nelson, A. M. Gabor, M. A. Contreras, J. R. Tuttle, R. Noufi, P. E. Sobol, P. Asoka-Kumar, and K. G. Lynn, J. Appl. Phys. 78,1(1995):269.
3. T. Nakada, D. Iga, H. Ohbo, and A. Kunioka, Jpn. J. Appl. Phys. 36,1,2(1977):732.
4. J. C. W. Forlmer, J. A. Turner, R. Noufi, and D. Cahen, J. Electrochem. Soc., 132,6 (1984):1319.
5. S. B. Zhang, S. H. Wei, and A. Zunger, Phys. Rev. Lett. 78,21(1997):4059.
6. T. Hanada, A. Yamana, Y. Nakamura, O. Nittono, and T. Wada, Technical Digest of the International PVSEC-9, Miyazaki, Japan, A-VIII-5(1996):595.
7. J. M. Marino, S. Mahanty, M. León, R. Díaz, F. Rueda, and Martín de Vidales, Thin Solid Film, 361-362,1-2(2000):411.
8. W. Hönle, G. Kühn, and U. C. Boehnke, Cryst. Res. Technol., 23,10-11(1988):1347.
9. B. A. Hunter and C. J. Howard, LHPM A Computer Program for Rietveld Analysis of X-ray and Neutron Powder Diffraction Patterns, Lucas Heights Research Laboratories, Australian Nuclear Science and Technology Organization, (2000).
10. B. Schumann, G. Kühn, U. Boehnke, and H. Neels, Sov. Phys. Crystallogr. 26,6 (1981):678.
11. H. P. Wang, I. Shih, and C. H. Champness, Thin Solid Films, 361-362,1-2(2000):494.
12. H. P. Wang, I. Shih, and C. H. Champness, Thin Solid Films, 361-362,1-2(2000):498.
13. ราม ติวารี, การปลูกผลึกและการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลึกเดี่ยว $CuIn_3Se_5$, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
14. คำเผย ชัยวงศ์, การปลูกผลึกและโฟโตรีแฟลกแทนซ์ของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

15. M. J. Buerger and C. H. MacGillavry, International Tables for X-ray Crystallography, Volume 1, The Kynoch Press, Birmingham, England, 1965.

16. L. V. Azároff, Elements of X-ray Crystallograohy, McGraw-Hill Book Company.

17. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc.

18. J. Singh, Physics of Semiconductors and Their Heterostructures, McGraw-Hill International Editions.

19. ณรงค์ แสงแก้ว, ระบบวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำควบคุมโดยคอมพิวเตอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

20. F. Abelès, Optical Properties of Solids, North-Holland Publishing Company, 1972.

21. H. Haupt and K Hess, Inst. Phys. Conf. Ser., 35,5(1977).

22. J. Krustok, H. Collan, M. Yakushev and K. Hjelt, Physica Scripta.,T79,(1999):179.

23. J. Krustok, J. Raudoja, M. Yakushev, R.D. Pilkington and H. Collan, Phys. Stat. Sol., (a) 173(1999):483.

24. A. P. Levanyuk and V. V. Osipov, Sov. Phys. Semicond.,7,6(1973).

25. ธนา สุทธิโอภาส, การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของการดูดกลืนแสงพื้นฐานของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ และส่วนหางของเออบาค, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

26. M. L. Fearheiley, Solar Cells 16, 91(1986).

27. G. Malmros and J. O. Thomas,J. Appl. Cryst, 10(1977):7.

28. R. A. Young, P. E. Mackie and R. B. Von Dreele, J. Appl. Cryst..,10(1977):262.

29. C. P. Khattak and D.E. Cox, J. Appl. Cryst.,10(1977):405.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมเรียทิกา

1. การเตรียมไฟล์ข้อมูล .dat

ข้อมูลจากการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ มีรูปแบบเป็นไฟล์ได้หลายแบบ เช่น .rd (Scan File) และ .udf (Universal Data File) เป็นต้น แต่ไฟล์รูปแบบนี้ไม่สามารถใช้ได้ในโปรแกรมเรียทิกา จึงจำเป็นต้องแปลงหรือจัดให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ที่โปรแกรมเรียทิกานำไปใช้งานได้ และจะต้องตั้งนามสกุลไฟล์ให้เป็น .dat (LHPM Data file) ซึ่งจะมีตัวอย่างแสดงส่วนหนึ่งของไฟล์ข้อมูลที่ใช้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนหนึ่งของไฟล์ข้อมูลตัวอย่างนามสกุล .dat ที่โปรแกรมเรียทิกาใช้งาน

10.00	0.02	79.98							
119.	94.	106.	121.	94.	112.	110.	102.	96.	117.
98.	125.	117.	106.	106.	108.	100.	110.	112.	106.
92.	102.	117.	102.	108.	112.	123.	102.	117.	104.
114.	88.	92.	119.	106.	102.	102.	88.	114.	112.
102.	106.	108.	98.	98.	106.	121.	102.	112.	119.
110.	117.	119.	119.	108.	132.	98.	121.	119.	117.
121.	128.	123.	121.	135.	102.	121.	106.	130.	83.
106.	117.	114.	121.	121.	104.	114.	119.	121.	112.
108.	123.	121.	121.	119.	100.	114.	104.	135.	151.
144.	121.	144.	117.	135.	154.	135.	110.	128.	121.

จากตารางที่ 1 รูปแบบของไฟล์นามสกุล .dat นี้ ในบรรทัดแรกจะเป็นตัวเลข 3 จำนวนซึ่งเรียงลำดับ ดังนี้ คือ ค่ามุมเริ่มต้น ค่ามุมที่จะต้องเพิ่มในการวัดแต่ละครั้ง และค่ามุมสุดท้าย ส่วนบรรทัดถัดไป คือ ข้อมูลผลการวัดจากแต่ละมุมโดยเรียงลำดับจากมุมเริ่มต้นไปยังมุมสุดท้าย และจะต้องจัดข้อมูลให้อยู่บรรทัดละ 10 จำนวนเท่านั้น

ไฟล์ข้อมูลนามสกุล .dat (LHPM Data File) จะต้องใช้งานร่วมกับไฟล์อินพุทนามสกุล .inp (LHPM Input File) ซึ่งเป็นไฟล์ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับเฟส สเปซกรุ๊ปและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับแต่งพารามิเตอร์แบบเรียทเวลด์ แสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 2

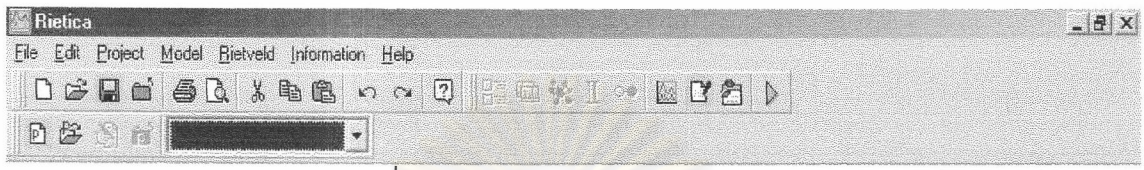
ตารางที่ 2 ตัวอย่างไฟล์อินพุทนามสกุล .inp ที่โปรแกรมเรียทิกาใช้งาน

```
Silicon-45
  0  4  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0011110002000000000    1.000   4.000 0.00000
 1.5406 1.54439 0.45000    1.00  7.0000  1.0000    0.00 20.0000  0.0000   0.000
 300.100.900.900.900.90  10.000   0.020  79.980   0.000   0.000
    15
 0.020  11.000
 267.000000  -17.140000    0.487500   -0.006357   3.0695E-5    0.760500
    21.000     31.000     41.000     51.000     61.000      0.000
A new phase
  1    1   0.0 0.0 1.0        0.0 0.0 1.0
F D 3 M
SI  SI          0.12500 0.12500 0.12500 0.00000 0.04129
-0.00388-0.00388-0.00388 0.00000 0.00000 0.00000
1.068870E-03      0.0000
 0.01200-0.01400 0.00540 0.01900
 5.4326  5.4326  5.4326 90.0000 90.0000 90.0000
 1.00000 0.00000 0.04880 0.00000
 1.00000 0.00000 0.00000-0.00007
  0.000   0.000   0.000   0.000   0.000
 71.000  71.000  71.000   0.000   0.000   0.000
 81.000          0.000
 91.000 101.000 111.000 121.000
131.000 131.000 131.000   0.000   0.000   0.000
  0.000   0.000 141.000   0.000
  0.000   0.000   0.000 151.000
```

จากตารางที่ 2 ไฟล์อินพุทมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าไฟล์ข้อมูลมาก หากพิมพ์ขึ้นมาเองจะต้องทำความเข้าใจข้อกำหนดของโปรแกรมเรียทิกาเป็นอย่างดี ไม่เช่นนั้นแล้วก็จะเกิดความผิดพลาดได้ ผู้ใช้งานโปรแกรมเรียทิกาเวอร์ชันบนดอสจะต้องพิมพ์ไฟล์อินพุทขึ้นเอง สำหรับโปรแกรมเรียทิกาเวอร์ชันที่ใช้งานบนวินโดวส์นั้น ผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดสิ่งที่ต้องการใช้ ได้แก่ เฟส สเปซกรุ๊ปและพารามิเตอร์ต่างๆ ได้บนวินโดว์โดยตรง ซึ่งง่ายมากเมื่อเทียบการพิมพ์ไฟล์อินพุทขึ้นมาเอง แล้วโปรแกรมเรียทิกาก็จะบันทึกสิ่งที่กำหนด และสิ่งที่ไม่ได้กำหนดในรูปของค่าดีฟอลท์ให้อยู่ในรูปไฟล์อินพุท

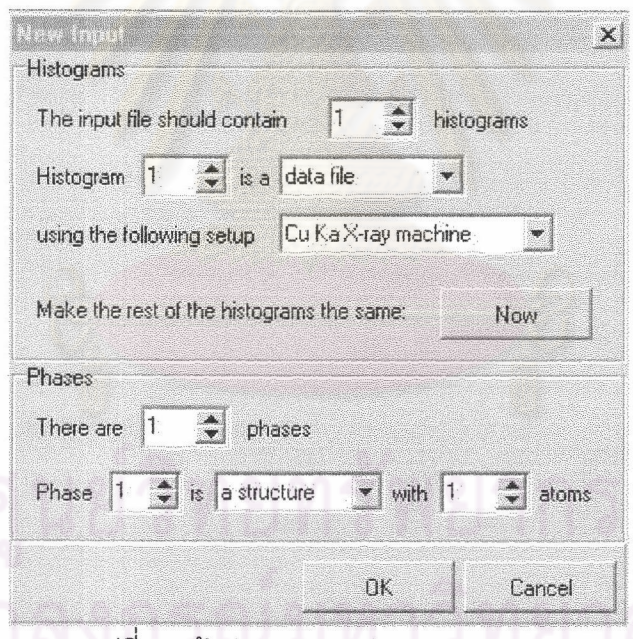
2. การใช้โปรแกรมเรียทิกาบนวินโดวส์

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมเรียทิกาซึ่งในที่นี้มีเวอร์ชันเป็น 1.6.7a ซึ่งทำงานบนวินโดวส์ จะมีลักษณะหน้าต่างตอนเริ่มต้นโปรแกรมดังรูปที่ 1



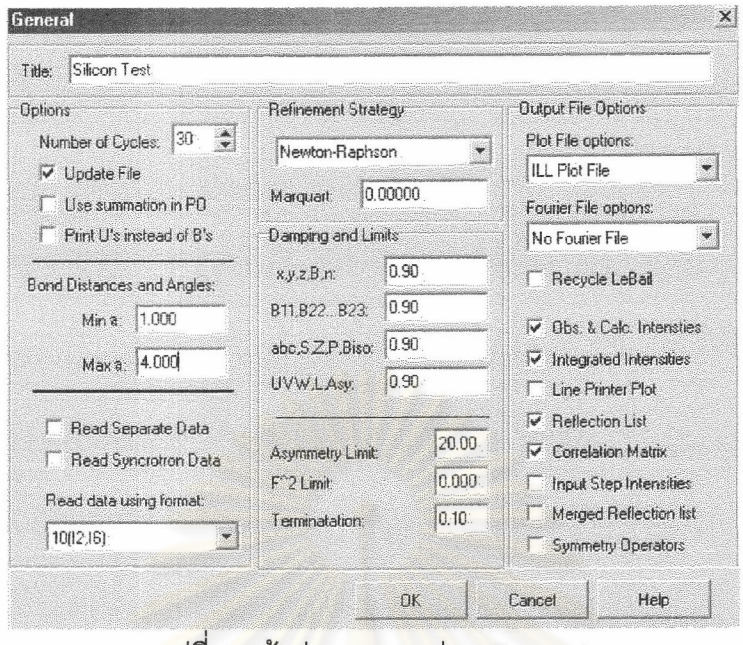
รูปที่ 1 หน้าต่างของโปรแกรมเรียทิกา

เริ่มใช้งานโดย เลือกเมนู File เลือกเมนูย่อยเป็น New Input แล้วทำการใส่ข้อมูลเบื้องต้นลงในหน้าต่างของ New Input ดังรูปที่ 2



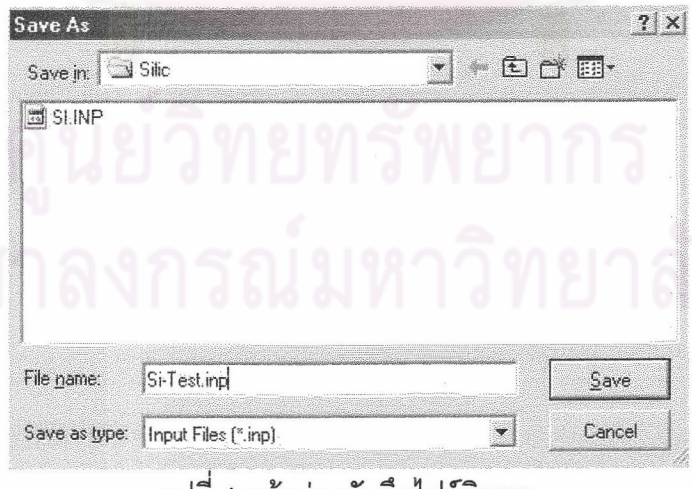
รูปที่ 2 หน้าต่างของเมนูย่อย New Input

ในที่นี้จะยกตัวอย่างโครงผลึกของซิลิกอนซึ่งมีเพียงเฟสเดียว และอะตอมประจำตำแหน่งที่ไซท์เดียว จึงใส่จำนวนเฟสเป็น 1 และใส่จำนวนอะตอมเป็น 1 ต่อมาเลือกเมนูเป็น Model เลือกเมนูย่อยเป็น General ได้ดังรูปที่ 3



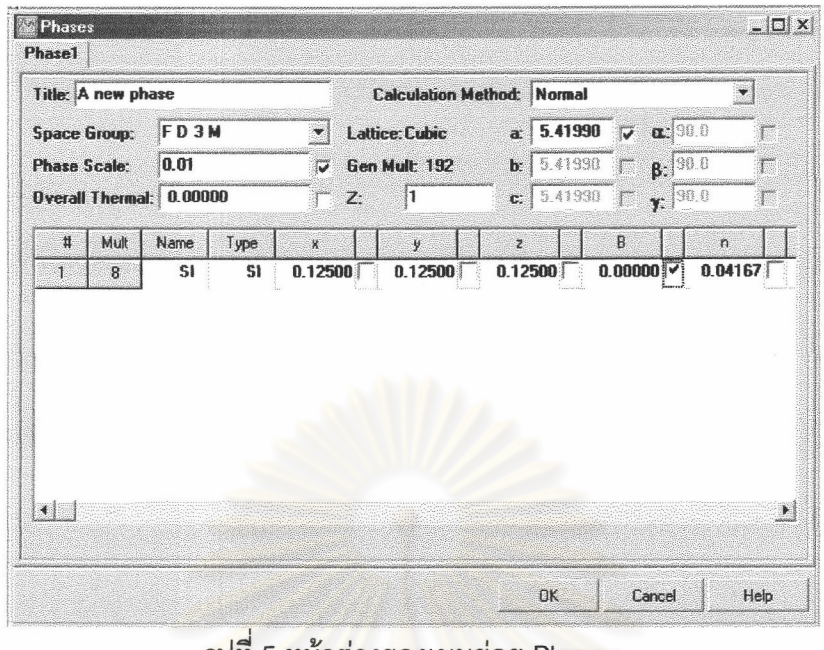
รูปที่ 3 หน้าต่างของเมนูย่อย General

ในหน้าต่างของเมนูย่อย General นี้ จะเป็นการกำหนดการทำงานทั่วๆ ไปของโปรแกรมเรียทิกา ถ้าต้องการให้โปรแกรมสร้างไฟล์แสดงระยะทางและมุมระหว่างอะตอมหลังจากเสร็จสิ้นการปรับแต่งพารามิเตอร์ ให้ใส่ค่าระยะทางต่ำสุดและมากสุดในช่องใต้คำว่า Bond Distances and Angles: และรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการให้โปรแกรมบันทึกลงในไฟล์เอาพุทให้เลือกจากเช็กบ็อกซ์ด้านขวามือ หลังจากนี้ให้บันทึกข้อกำหนดต่างๆ เป็นไฟล์อินพุทได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าต่างบันทึกไฟล์อินพุท

ก่อนที่ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์จำต้องเลือกตัวแปรและกำหนดค่าเริ่มต้นที่จะปรับแต่งจากเมนู Model โดยเริ่มต้นที่เมนูย่อย Phases ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าต่างของเมนูย่อย Phases

ในหน้าต่างของเมนูย่อย Phases จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เช่น

1. สเปซกรุ๊ปของสาร สำหรับซิลิกอนจะมีสเปซกรุ๊ป เป็น ***Fd3m***

2. ค่าพารามิเตอร์โครงผลึก สำหรับซิลิกอนจะปรับค่า a ได้อย่างเดียว โดยจะต้องใส่ค่า a ให้ใกล้เคียงกับความจริง แล้วเช็กเครื่องหมายถูกเพื่อให้โปรแกรมปรับแต่งได้

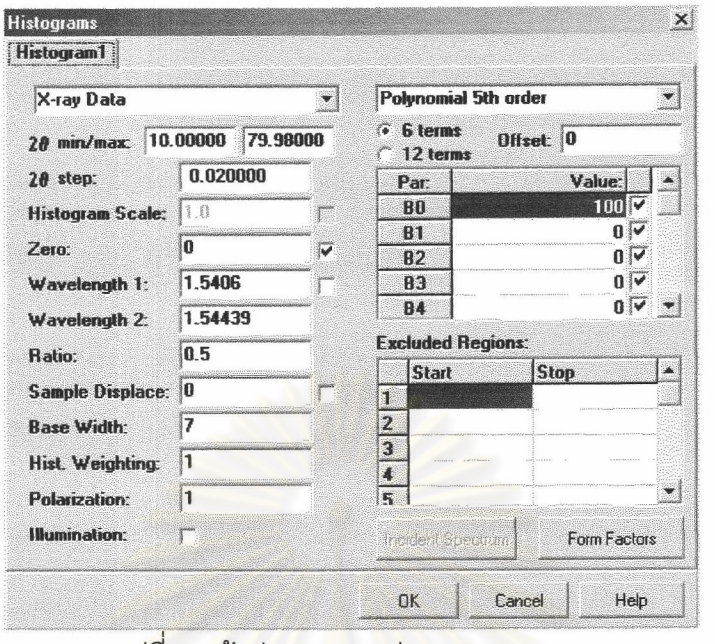
3. ค่าเฟสสเกลแฟกเตอร์ ให้เช็กเครื่องหมายถูกเพื่อให้โปรแกรมปรับแต่ง ส่วนตัวเลขเริ่มต้นให้ใช้ค่าที่โปรแกรมกำหนดก็ได้

4. ค่าพารามิเตอร์ความร้อนแบบไอโซโทรปิก B ของอะตอมซิลิกอน ให้เช็กเครื่องหมายถูกเพื่อให้โปรแกรมปรับแต่ง ค่าเริ่มต้นให้ใช้ค่าเริ่มต้นที่โปรแกรมกำหนดให้มาซึ่งเป็น 0

5. ค่าเศษส่วนการประจำไซท์ของอะตอม n ยังไม่ต้องปรับแต่งจึงไม่มีการเช็กเครื่องหมายถูก แต่จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สำหรับผลึกซิลิกอนนี้ถือว่าเต็ม จึงใส่ค่าเต็มลงไป ซึ่งมีค่าเป็น 0.04167 ลงไป

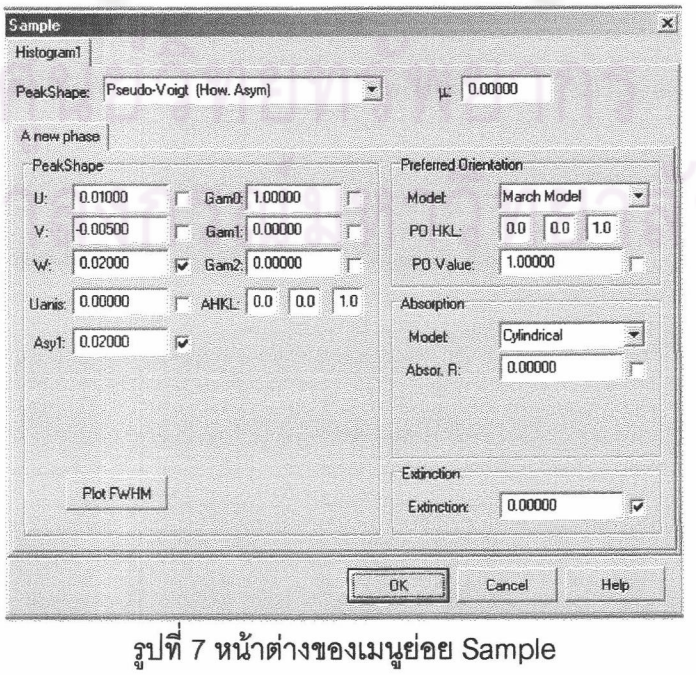
6. สำหรับอะตอมซิลิกอน ให้ใส่ชื่อของอะตอม ชนิดของอะตอม และตำแหน่งของไซท์ที่อะตอมซิลิกอนอยู่ คือ x, y และ z ซึ่งของซิลิกอนไม่ต้องปรับแต่ง ห้ามเช็กเครื่องหมายถูก

หลังจากนี้เลือกเมนูย่อย Histograms ดังรูปที่ 6



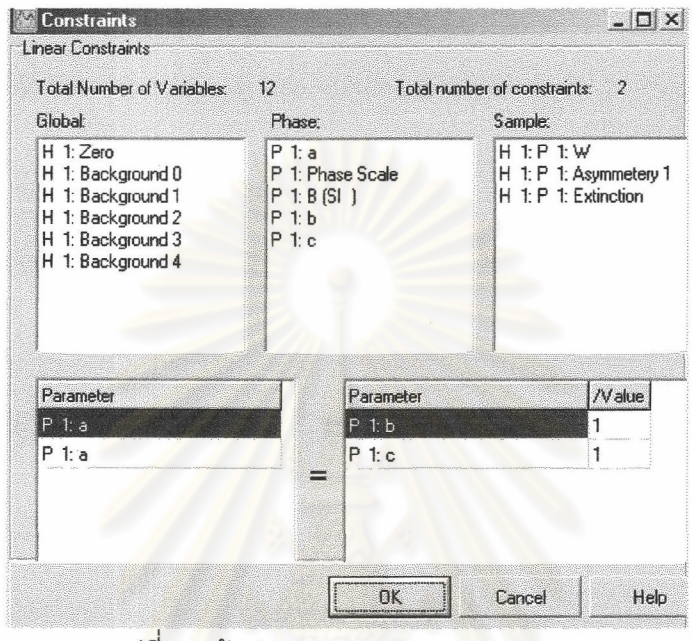
รูปที่ 6 หน้าต่างของเมนูย่อย Histograms

สำหรับในหน้าต่างของเมนูย่อย Histogram ให้ใส่ค่ามุมเริ่มต้น มุมสิ้นสุด ค่ามุมที่เพิ่มในการวัดแต่ละครั้ง ค่าความยาวของคลื่นรังสีเอกซ์ที่ 1 และ 2 ค่าอัตราส่วนความเข้มของคลื่นทั้งสองความยาวคลื่น ส่วนพารามิเตอร์ที่ต้องการให้โปรแรมปรับแต่งให้เช็กเครื่องหมายถูกด้านท้าย ประกอบด้วย ค่าแก้ศูนย์ และ ค่าตัวแปรพื้นหลัง โดยกำหนดค่าเริ่มต้นเองหรือจะใช้ค่าที่โปรแกรมกำหนดมาให้ก็ได้ ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ไม่ต้องสนใจ ให้ใช้ค่าที่โปรแกรมกำหนดมาให้ หลังจากนี้ให้เลือกเมนูย่อย Sample ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หน้าต่างของเมนูย่อย Sample

ในหน้าต่างของเมนูย่อย Sample นี้ จะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับข้องรูปร่างของยอดต่างๆ ตลอดทั้งฮิสโทแกรมของข้อมูล และพารามิเตอร์ค่าแก้ไขต่างๆ ให้เลือกปรับแต่งโดยเช็กเครื่องหมายถูกตามความต้องการ หลังจากนี้ลองเลือกเมนูย่อย Constraints ดังรูปที่ 8

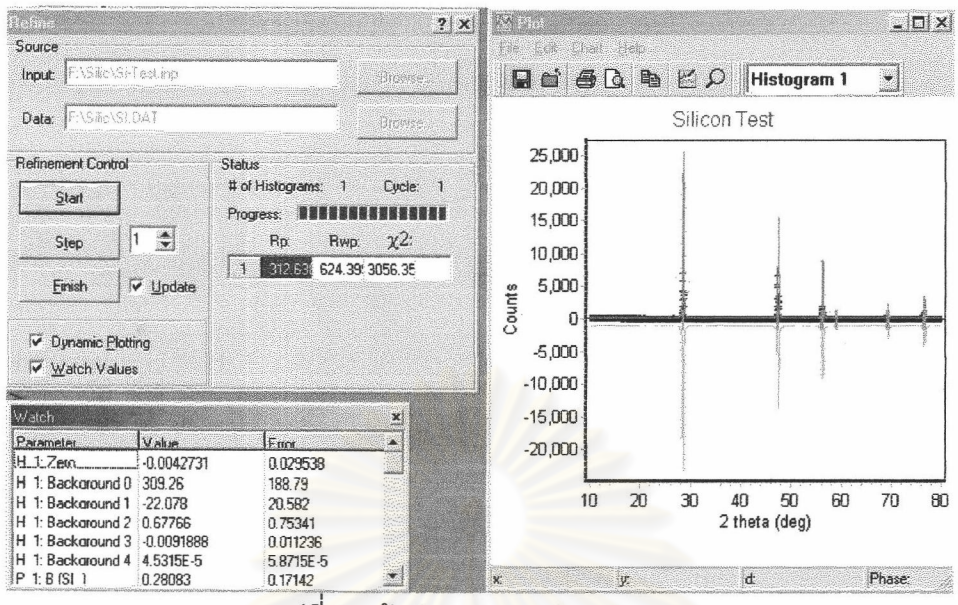


รูปที่ 8 หน้าต่างของเมนูย่อย Constraints

จากหน้าต่างของเมนูย่อย Constraints จะแสดงให้เห็นถึงตัวแปรอิสระทั้งหมดที่เลือกให้โปรแกรมทำการปรับแต่ง ด้านล่างของหน้าต่างจะเป็นสรุป Constraints ของตัวแปร สำหรับในที่นี้เป็นของโครงผลึกของซิลิกอน จะได้ค่าพารามิเตอร์โครงผลึกเป็น a = b = c

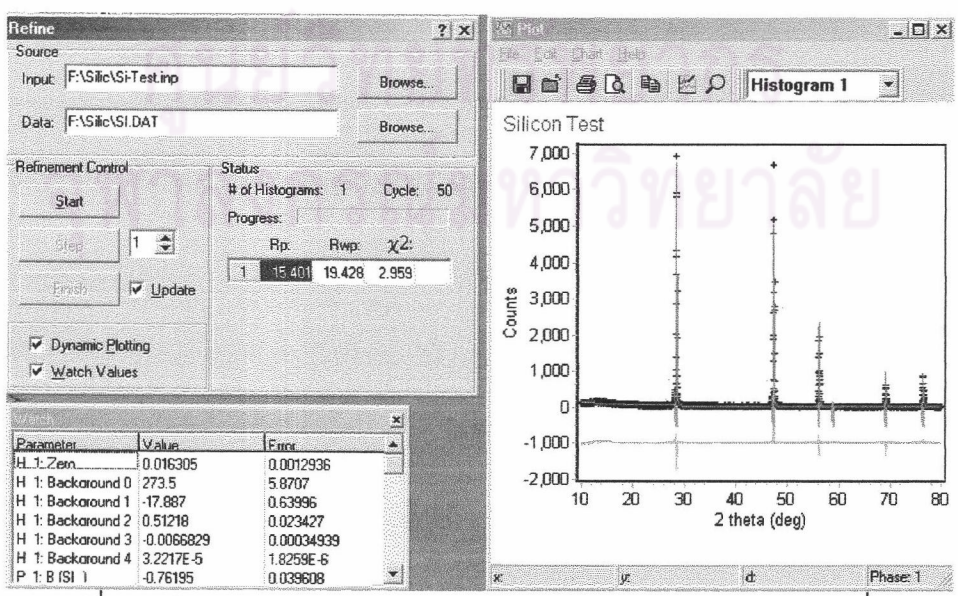
หลังจากนี้ให้เลือกเมนู Rietveld เลือกเมนูย่อยเป็น Refine เพื่อเริ่มกระบวนการปรับแต่งพารามิเตอร์ จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



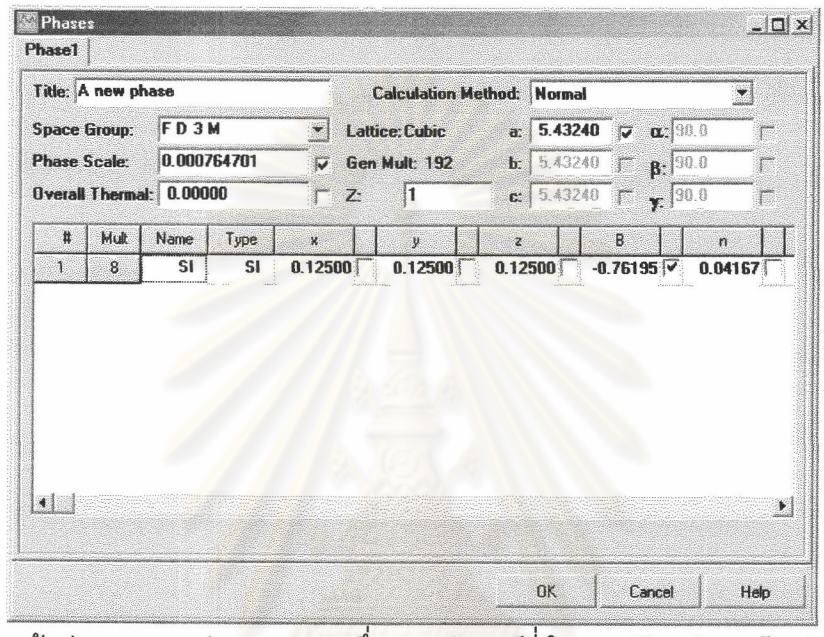
รูปที่ 9 หน้าต่างของเมนูย่อย Refine

ในหน้าต่างของการปรับแต่งพารามิเตอร์นี้ ให้เลือกชื่อไฟล์ข้อมูล ในที่นี้ คือ SI.DAT ใช้เมาส์เช็กที่หน้าตัวเลือก Dynamic Plotting เพื่อให้โปรแกรมแสดงหน้าต่างฮิสโทแกรมขณะทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ และเช็กที่ตัวเลือก Watch Value เพื่อให้โปรแกรมแสดงค่าพารามิเตอร์ขณะที่ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ คลิกที่คำว่า Start หลังจากนั้น คลิกที่คำว่า Step ครั้งแรกจะเห็นว่าค่า χ^2 หรือ GOF มีค่ามาก รูปฮิสโทแกรมที่ได้จากการปรับแต่งไม่ลงรอยกับจุดข้อมูลจากการทดลอง แล้วทำการคลิกที่คำว่า Step ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่า GOF จะน้อยลงถึงจุดต่ำสุดค่าหนึ่ง ซึ่งจะได้รูปฮิสโทแกรมที่น่าพึงพอใจดังรูปที่ 10

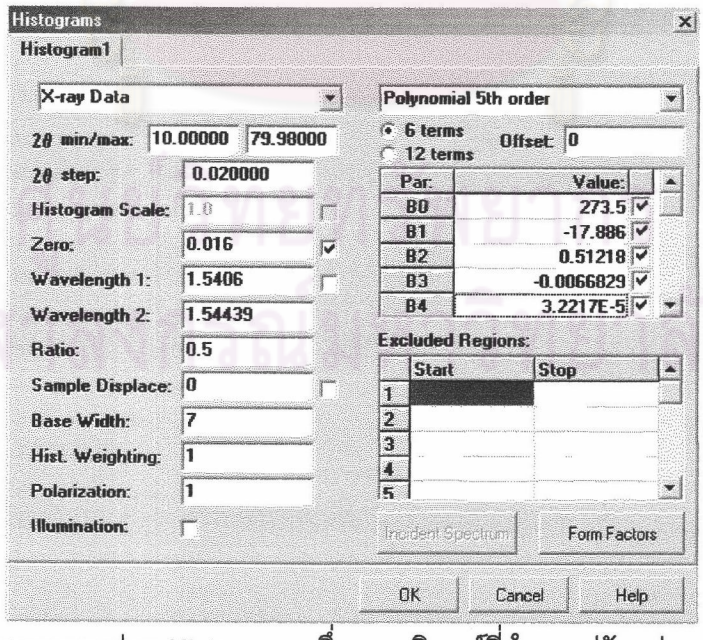


รูปที่ 10 หน้าต่างของเมนู Refine ขณะได้ผลการปรับแต่งพารามิเตอร์ดีที่สุด

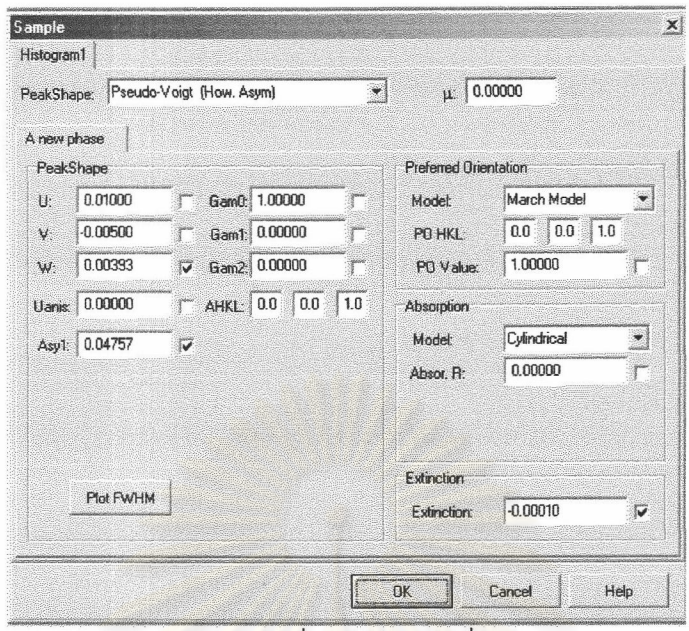
จากรูปที่ 10 ฮิสโทแกรมที่ได้จากการปรับแต่งพารามิเตอร์ตามที่กำหนดจะลงรอยกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ให้คลิกที่คำว่า Finish โปรแกรมก็จะให้ไฟล์เอาท์พุตออกมาและทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เป็นค่าปัจจุบันซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 11-13 ถ้าเช็กเครื่องหมายถูกที่หน้าคำว่า Update โปรแกรมก็จะบันทึกข้อมูลปัจจุบันลงในไฟล์อินพุท



รูปที่ 11 หน้าต่างของเมนูย่อย Phases ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งจะเป็นค่าปัจจุบัน

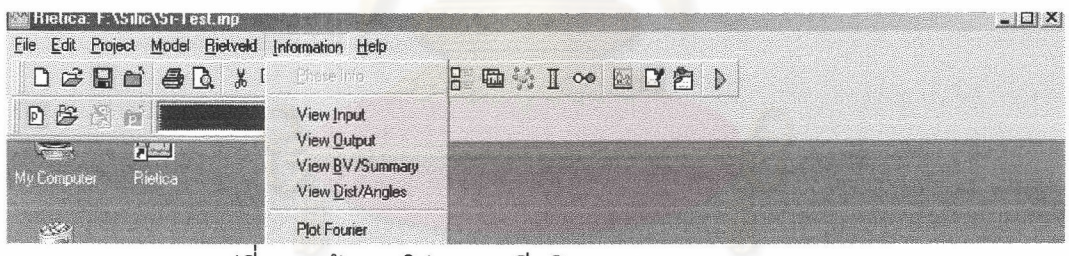


รูปที่ 12 หน้าต่างของเมนูย่อย Histograms ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งจะเป็นค่าปัจจุบัน



รูปที่ 13 หน้าต่างของเมนูย่อย Sample ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งจะเป็นค่าปัจจุบัน

หลังจากเสร็จสิ้น สามารถที่จะดูไฟล์อินพุท ไฟล์เอาท์พุทต่างๆ ที่ได้ โดยเลือกเมนู Information ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 หน้าของโปรแกรมเรียทิกา แสดงเมนู Information

หากต้องการดูไฟล์อินพุท ให้เลือกเมนูย่อย View Input หากต้องการดูผลการปรับแต่งพารามิเตอร์โดยละเอียดก็ให้เลือกเมนูย่อย View Output หากต้องการดูผลการปรับแต่งพารามิเตอร์และระยะทางระหว่างอะตอมโดยสรุปสั้นๆ ให้เลือกเมนูย่อย View BV/Summary และ หากต้องการดูผลการคำนวณระยะทางและมุมระหว่างอะตอมโดยละเอียด ให้เลือกเมนูย่อย View Dist/Angles ซึ่งถ้าต้องการไฟล์เอาพุททั้งหมด ก็สามารถหาได้จากพาธ C:\WINDOWS\TEMP\ ซึ่งจะมีไฟล์ที่สำคัญ ได้แก่

1. testclass.out เป็นไฟล์ที่บันทึกผลการปรับแต่งพารามิเตอร์โดยละเอียด
2. testclass.dst เป็นไฟล์ที่บันทึกผลการปรับแต่งพารามิเตอร์ และระยะทางระหว่างอะตอมโดยสรุปสั้นๆ

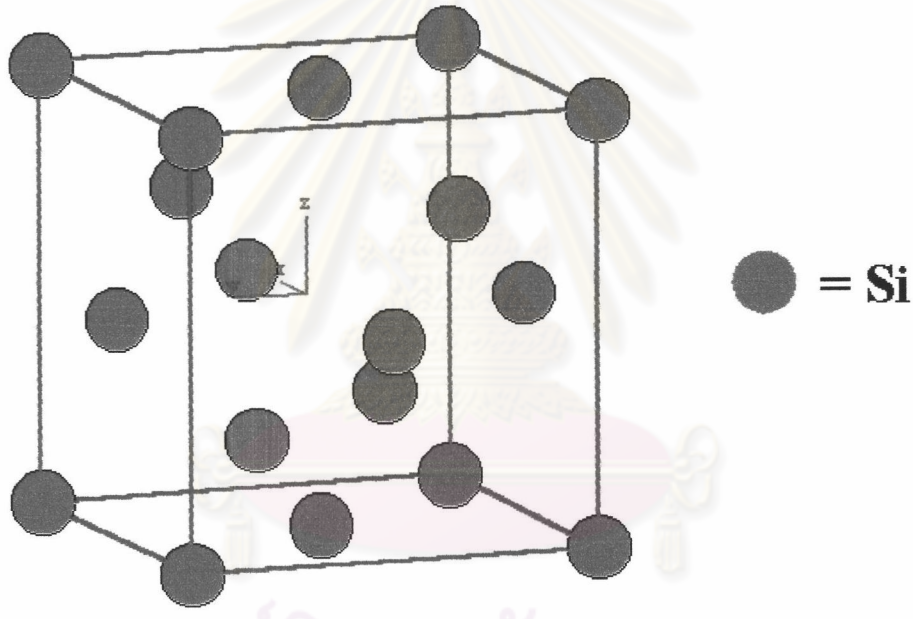
3. testclass.ang เป็นไฟล์ที่บันทึกผลการคำนวณระยะทางและมุมระหว่างอะตอมโดยละเอียด

หากต้องการให้ผลดียิ่งขึ้น อาจต้องทำการเลือกพารามิเตอร์เพิ่มเติมจากที่เดิมเลือกไว้ แต่การเลือกจำนวนพารามิเตอร์มากก็ยิ่งมีโอกาสผิดพลาดในลักษณะที่กระบวนปรับแต่งไม่มีเสถียรภาพ คือ ผลการปรับแต่งลู่ออก ทางออกที่อาจเป็นไปได้ คือ เลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการทีละน้อยๆ มีจำนวนพารามิเตอร์ไม่มาก แล้วให้โปรแกรมทำการปรับแต่งสลับกันจนครบทุกตัวหลายรอบจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งจะใช้เวลานานกว่าการเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการทั้งหมดแล้วทำการปรับแต่งในคราวเดียวทั้งหมดหลายเท่า แต่กระบวนการปรับแต่งจะมีเสถียรภาพ ผลการปรับแต่จะลู่เข้าอย่างแน่นอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

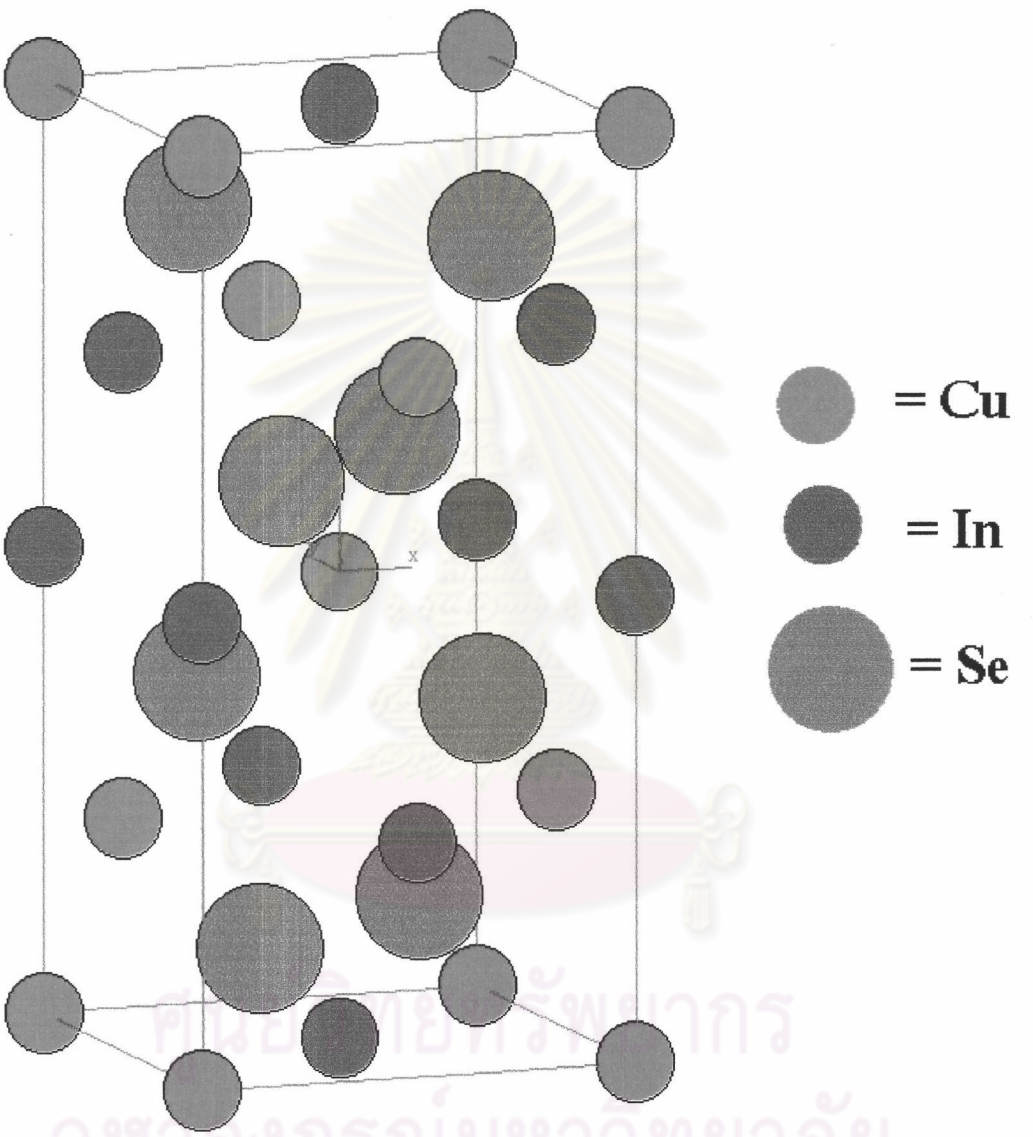
รูปแสดงโครงสร้างของสารประกอบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

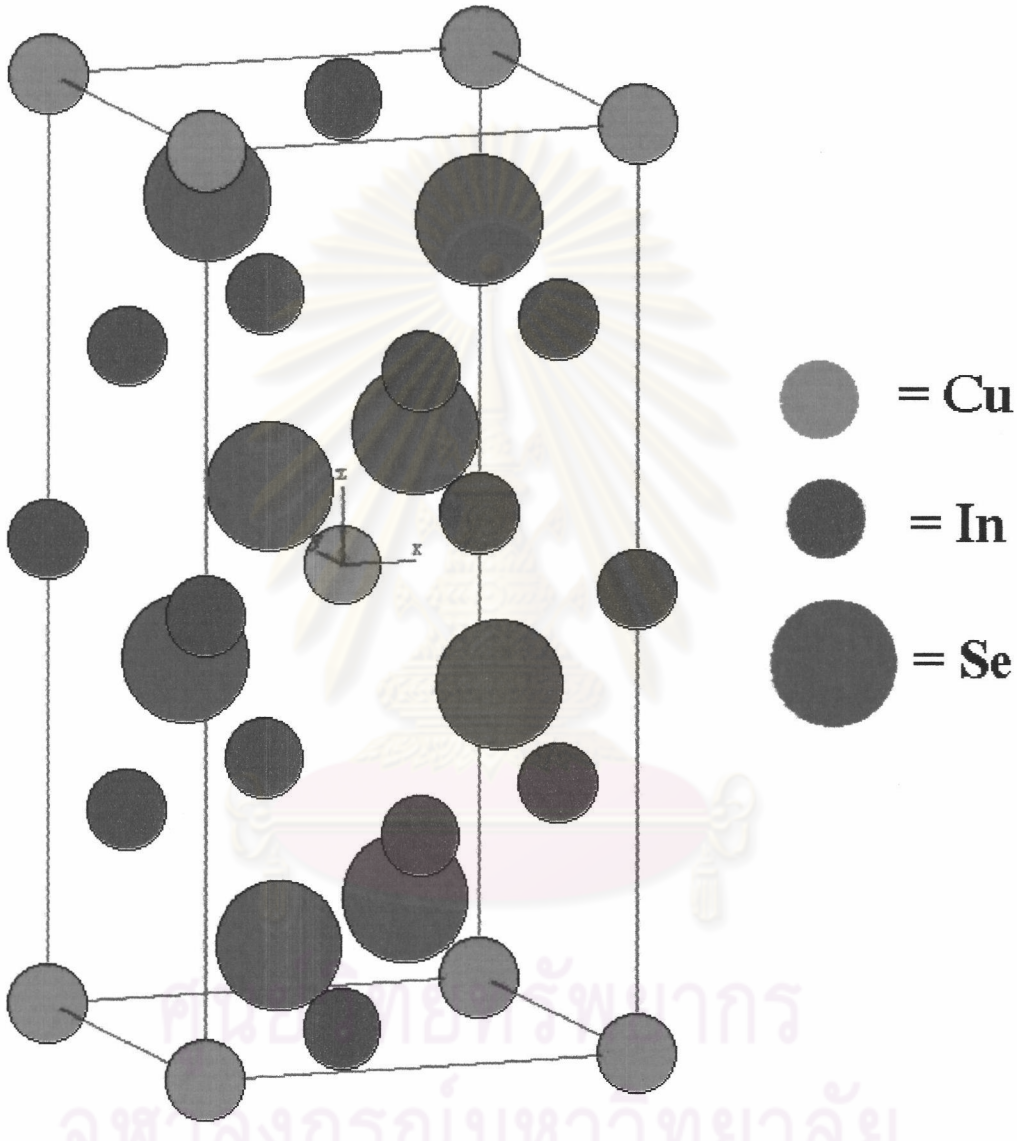
รูปแสดงโครงสร้างแบบเพชรของผลึก Si

ซึ่งมีสเปซกรุ๊ปเป็น *Fd*3*m*



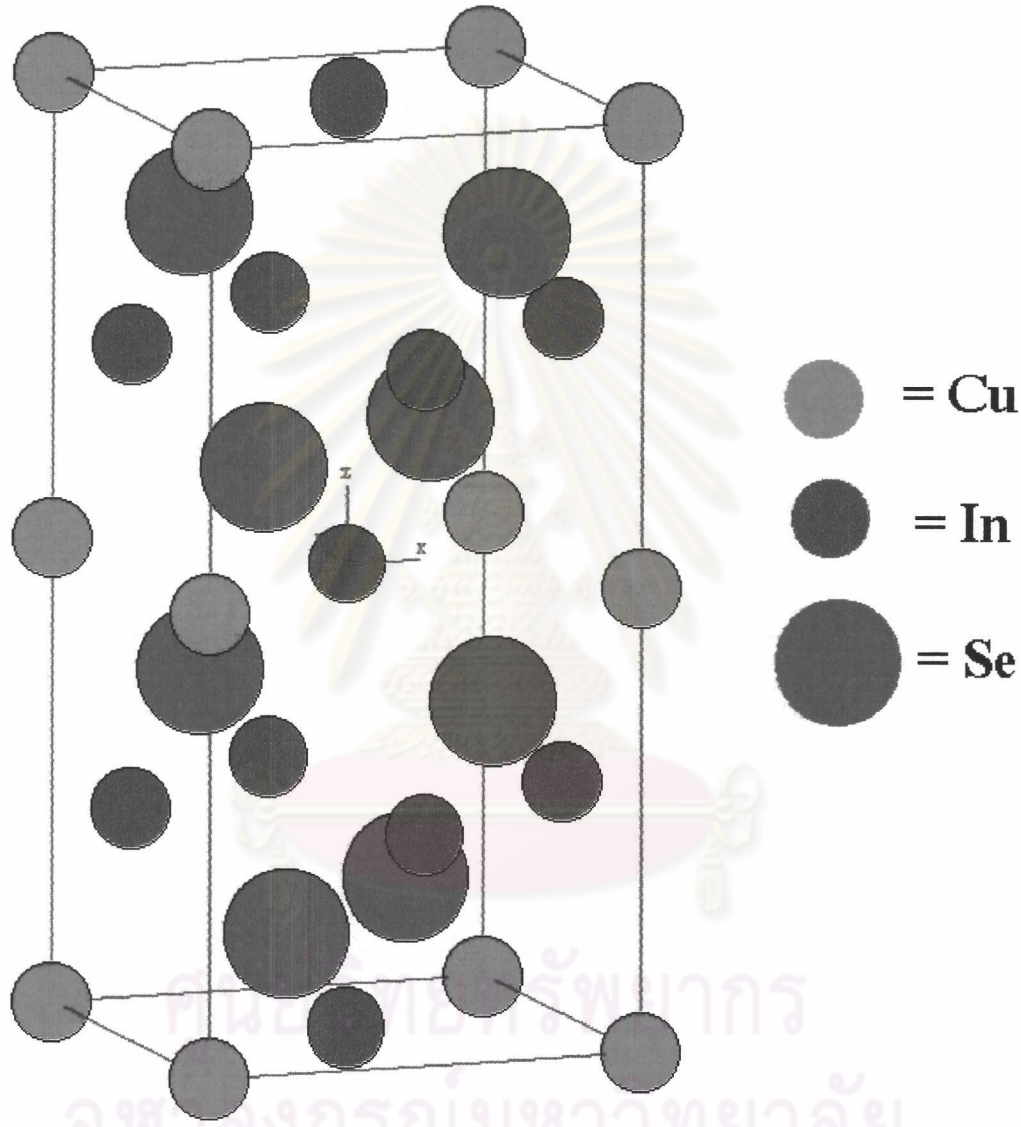
รูปแสดงโครงสร้างแบบชาลโคไพไรท์ของผลึก $CuInSe_2$
ซึ่งมีสเปซกรุ๊ปเป็น $I\bar{4}2d$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปแสดงโครงสร้างแบบสแตนไนท์ของผลึก $Cu_2In_4Se_7$
ซึ่งมีสเปซกรุ๊ปเป็น $I\bar{4}2m$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

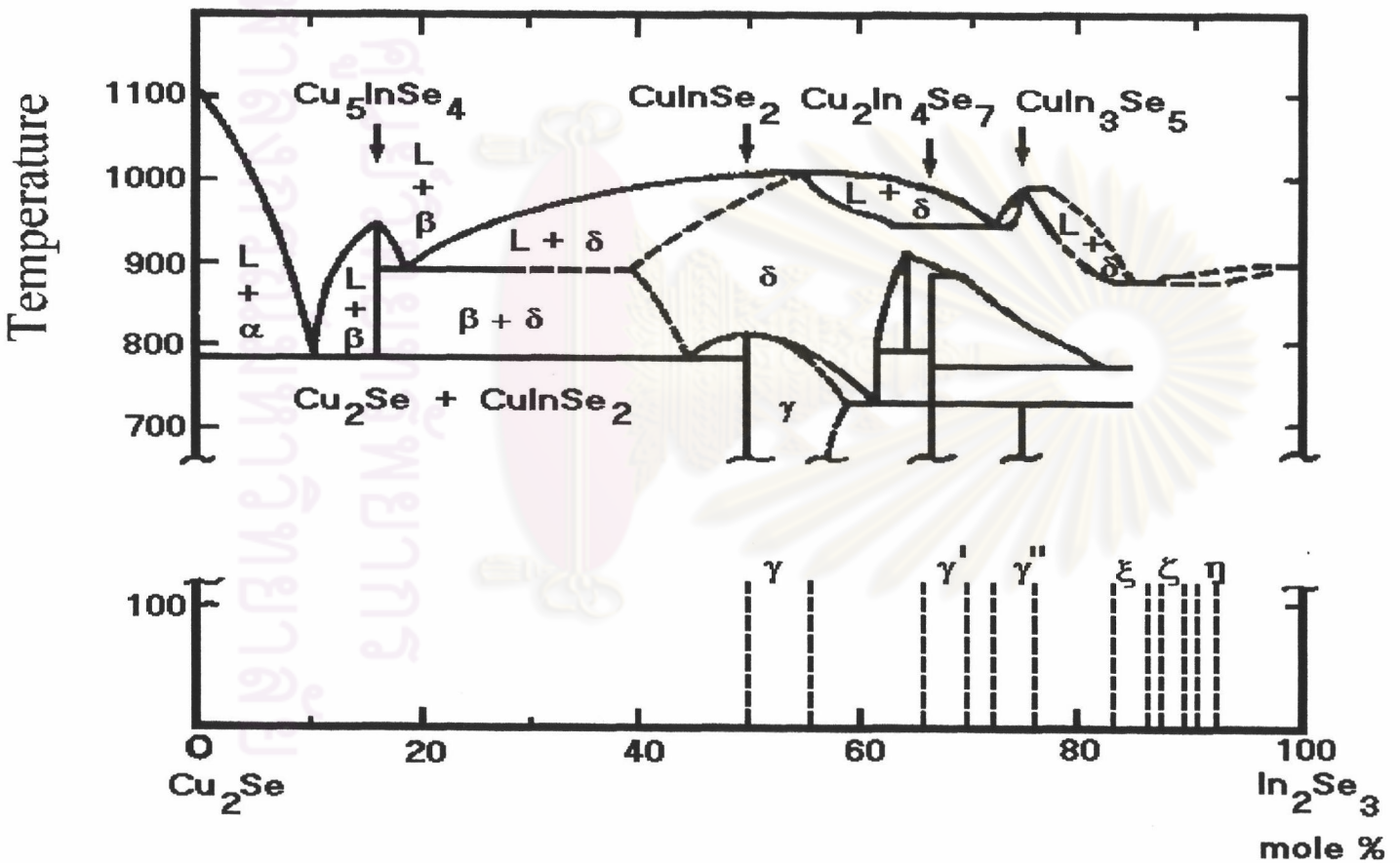


รูปแสดงโครงสร้างแบบพีชาลโคไพไรท์ของผลึก $Cu_2In_4Se_7$
ซึ่งมีสเปซกรุ๊ปเป็น $P\bar{4}2c$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แผนภาพเฟสระบบเชิงคู่เทียมของสารประกอบ $(Cu_2Se)_x(In_2Se_3)_{1-x}$ [26]



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกรียงไกร วันทอง เกิดเมื่อวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2518 ณ อำเภอเมืองฯ จังหวัดสมุทรปราการ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 จากโรงเรียนสมุทรปราการ ในปี พ.ศ. 2537 เข้าศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตที่ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ในสาขาวิชาฟิสิกส์ (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) ในปี พ.ศ. 2541 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย