

เอกสารอ้างอิง



1. Bucher, E. "Photovoltaic Power" Physics in Technology, 27(July 1986) : 152-161.
2. Shay, J.L. and Wernick, J.H. Ternary Chalcopyrite Semiconductor pp. 1-78, Pergamon Press, London, 1975.
3. Wagner, S. "Device applications of ternary compounds" Ternary Compound. pp. 205-216, The Institute of Physics Conferences Series; No. 35, Bristol, 1977.
4. Kazmerski, L.L. "The utilization of I-III-VI₂ ternary compound semiconductor in thin film heterojunction and homojunction photovoltaic devices" Ternary Compound pp. 217-228, The Institute of Physics Conferences Series; No. 35, Bristol, 1977.
5. Kazmerski, L.L. Private Communication
6. Shih, I. ; Champness, C.H. ; and Vahidshahidi, A. "Growth by directional freezing of CuInSe₂ and diffused homojunctions in bulk material" Solar Cells, 16(1986): 27-41.
7. Haupt, H; and Hess, K. "Growth of large CuInSe₂ single Crystals" Ternary Compound pp. 5-12, The Institute of Physics Conferences Series; No. 35, Bristol, 1977.

8. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics, 5th ed., pp. 190-210, Wiley & Sons, New Delhi, 1983.
9. Yoodee, K. Ph.D. Thesis (1985), University of Ottawa, Canada.
10. Fearheiley, M.L. "The phase relation in the Cu, In, Se system and the growth of CuInSe_2 single crystals" Solar Cells, 16(1986) : 91-100.
11. Becker, K.D.; and Wagner, S. "Temperature-dependent nuclear magnetic resonance in CuInX_2 ($X = \text{S, Se, Te}$) chalcopyrite-structure compounds" Phys. Rev. B Vol. 27, No. 9, 1983.
12. Wasim, S.M. "Transport properties of CuInSe_2 " Solar Cells, 16(1986) : 289-316.
13. Romeo, N. ; Canevari, V. ; Sberveglieri, G; Bosio, A ; and Zanotti, L. "Growth of large-grain CuInSe_2 thin films by flash-evaporation and sputtering" Solar Cells, 16(1986) : 155-164.
14. Tomlinson, R.D.; "Fabrication of CuInSe_2 single crystals using melt-growth techniques" Solar Cells, 16(1986) : 17-26.
15. Tell, B; Shay, J.L.; and Kasper, H.M. "Room temperature Electrical Properties of Ten I-III-VI₂ Semiconductors" J. Appl. Phys. 43, 2496(1972).

16. Von Bardeleben, H.J.; "Selenium self-diffusion study in I-III-VI₂ semiconductor : CuInSe₂" J. Appl. Phys. Vol. 16, No. 2, 1984 : 321-326.
17. Parkes, J.; Tomlinson, R.D.; and Hamshire, M.J. "The fabrication of p and n type single crystal of CuInSe₂" Journal of Crystal Growth 20(1973) : 315-318.
18. Datta, T.; Noufi, R.; and Dbe, K. "Electrical conductivity of p-type CuInSe₂ thin films" Appl. Phys. Lett. Vol. 47, No. 10, 1985 : 1102-1104.
19. Rincon, C. ; Bellabarba, C. ; González, J. ; and Sánchezpérez, G. "Optical properties and characterization of CuInSe₂" Solar Cells 16(1986) : 335-349.
20. Robinson, P. ; Wilson, J.I.B. ; "Schottky diodes on I-III-VI₂ compounds" Ternary Compound pp. 229-236, The Institute of Physics Conferences Series, No. 35, Bristol, 1977.
21. Prasad, J.J.B. ; Krishna, D.; Rao; and Sobhanadri, J. "Studies on n-CdTe/p-CuInSe₂ heterojunctions" J. Appl. Phys., Vol. 59, No. 8, 1986 : 2866-2869.
22. Tell, B.; Wagner, S.; Bridenbaugh, P.M. "Motion of p-n junctions in CuInSe₂" Appl. Phys. Lett. Vol. 28, No. 8, (1976) : 454-455.

23. Neff, H.; Lange, P.; Fearheiley, M.L.; Bachman, K.J.
"Optical and electrochemical properties of CuInSe_2
and CuInSe_2 - CuInSe_2 alloys" Appl. Phys. Lett.
Vol. 47, No. 10, (1985) : 1089-1091.
24. Endo, S.; Iric, T. "Preparation and Photovoltaic Properties
of $\text{CdIn}_2\text{S}_4/\text{CuInSe}_2$ Heterojunctions" Japanese
Journal of Applied Physics, Vol. 19(1980) supplement
19-3, pp. 53-58.
25. Yu, P.W.; Park, Y.S.; and Grant, J.T. "Electroluminescence
in Br, Cl, and Zn-implanted CuInSe_2 p-n junction
diodes" Appl. Phys. Lett. Vol. 28, No. 4, (1976):214-216.
26. Yu, P.W.; Park, Y.S.,; Faile, S.P.; and Ehret, J.E.
"Electroluminescence and photovoltaic detection in
Cd-implanted CuInSe_2 p-n junction diodes"
Appl. Phys. Lett., Vol. 26, No. 12(1975) : 717-719.
27. Endo, S.; Irie, T.; and Nakanishi, H. "Preparation and
some properties of CuInSe_2 single crystals" Solar
cells. 16(1986) : 1-15.
28. Wagner, S.; Shay, J.L.; Kasper, H.M. "The $\text{CuInSe}_2/n\text{-CdS}$
heterodiode : photovoltaic detector, solar cell
and light emitting diode" JOURNAL DE PHYSIQUE,
Colloque C3, supplement au n^o9, Tome 36, (1975) :
C3-101-C3-104.

29. Takenoshita, H. "Liquid phase epitaxial growth and electrical characterization of CuInSe_2 " Solar Cells, 16(1986) : 65-89.
30. Gonza'lez, J.; Rincon, C.; Redondo, A.; and Negret, P. "Photodetecting Properties of CuInSe_2 Homojunctions" Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 19(1980) supplement 19-3, pp. 29-32.
31. Feigelson, R.S. "The growth of ternary semiconductor crystals suitable for device applications" JOURNAL DE PHYSIQUE Colloque C3, supplement au n^o9, Tome 36, (1975) : C3-57-C3-66.
32. Pamplin, B.R. CRYSTAL GROWTH, International series of monographs in the science of the solid state, Pergamon press, oxford, 1975.
33. Hannay, N.B. SEMICONDUCTORS, Reinhold Publishing Corporation New York, (1959). pp. 87-140.
34. Ueda, R; Mullin, J.B. Crystal Growth and Characterization North-Holland Publishing Company, 1975 pp. 1-105.
35. De Kok, A.J.R. "Crystal Growth of Bulk Crystals : Purification, Doping and Defects" Handbook on semiconductor Vol. 3, North-Holland Publishing Company, 1980, pp. 247-333.

36. Cullity, B.D. Elements of X-Ray Diffraction, 2nd ed., pp. 1-176, Addison-Wesley, Massachusetts, 1978.
37. บัญชา ศิลป์กุลสุข "การศึกษาเฟสของโลหะผสม $Pb_{1-x-y}Sn_xGe_yTe$ ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ นันทิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527.
38. อำพน เจริญพัฒน์ไพศาล "การศึกษาโลหะผสม $Pb_{1-x}Sn_xGe_yTe$ โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์สำหรับ $y = 0.2$ " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ นันทิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526
39. ธงชัย พันธเมธาดุทธิ "ค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $AgGaTe_{2(1-z)}Se_{2z}$ " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ นันทิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.
40. ธรรมศักดิ์ สิงคเสลิต "ค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $AgGa_yIn_{(1-y)}Te_{(1-z)}Se_{2z}$ เมื่อ $y = 0.2$ " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ นันทิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.
41. อนุพงศ์ สรงประภา "การปลูกผลึกแกละสียมอาร์ชาไนต์แบบเอพิแทกซ์จากเฟสเหลวในชุดอุปกรณ์แนวตั้ง" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ นันทิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2529.
42. Matthes, H.; Viehmann, R.; Marshall, N.; Korczak, P. "Bridgman growth of $AgGaSe_2$ with improved optical properties" JOURNAL DE PHYSIQUE, Colloque C3, supplement aun^o9, Tome 36, (1975) : C3-105-C3-108.

43. Haworth, L.; Tomlinson, R.D. ; Al-Saffar, I.S. "Growth and Characterization of CuInTe_2 single Crystals"
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 19, (1980) supplement 19-3, pp. 77-80.
44. Buerger, M.J. X-Ray Crystallography John Willey & Son, Inc., 7th Printing, Printed in the united states of America, 1966.
45. Wooten, F. Optical properties of solids , Academic Press, Inc., London, 1972 : 1-84.
46. Johnson, E.J. "Absorption near the Fundamental Edge"
Semiconductors and Semimetals Vol. 3, Academic Press, Inc., Printed in the United States of America, 1967 : 153-167.
47. Abeles, F. Optical Properties of Solids , North-Holland Publishing Company, Printed in the Netherlands, 1972 : 22-58.
48. Sze, S.M. Physical of Semiconductor Devices 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981 : 16-32, 245-306.
49. Smith, R.A. Semiconductors pp. 74-92., Published by The Syndic of The Cambridge University Press, London, 1959.

50. Ashcroft, N.W., ; Mermin, N.D. Solid State Physics,
Holt-Saunders Japan; Ltd., Tokyo, 1981 : 572-585.
51. Runyan, W.R. Semiconductor Measurements and Instrumentation
McGraw-Hill Book Company, New York, 1975 : 65-75.
52. Schockley, W. Electrons and Holes in Semiconductors, D. Van
Nostrand Company, Ltd., Printed in The United
States of America, 1956 : 230-249.
53. Van der Pauw, L.J. "A method of measuring specific resistivity
and Hall effect of discs of arbitrary shape",
Philips Res. Repts, 13, 1958 : 1-9.
54. Van der Pauw, L.J. "A method of measuring the resistivity
and Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape"
Philips technical review, Vol. 20, No. 8, 1958.
pp. 220-224.
55. Milnes, A.G. ; Feucht, D.L. Heterojunctions and Metal-
Semiconductor Junctions, Academic Press, Inc.,
New York, 1972 : 156-190.
56. Williams, R.H. "The Shottky Barrier Problem", Contemp. Phys.
Vol. 23, No. 4, 1982 : 329-351.
57. Brillson, L.J. "The structure and properties of metal-
semiconductor interface", Surface Science Reports
Vol. 2, No. 2, 1982 : 123-166.

58. Mary, A.; Goldstein, Y.; Grover, N.B. Semiconductor surface, North-Holland Publishing Company, 1971 : 118-138.
59. Chang, C.Y.; Fang, Y.K.; Sze, S.M.; "Specific contact resistance of metal-semiconductor barriers" Solid State Electronics, Pergamon Press, Printed in Great Britain, Vol. 14, 1971 ; 541-550.
60. Fonash, S.J. "Barrier formation and transport in shottky barrier and semiconductor/semiconductor heterojunctions" Physics of Semiconductor Devices, Wiley Eastern Limited, New Deihi, 1982 : 128-145.
61. Newman, N.; Schilfgaard, M.V.; Kendelwicz, T. "Electrical study of schottky on atomically clean GaAs (110) surfaces" Phys. Rev. B, Vol. 33, No. 2, 1986 : 1146-1159.
62. Tantraporn, W. "Determination of low Barrier Heights in Metal-Semiconductor Contacts" J. Appl. Phys., Vol. 41, No. 11, 1970 : 4669-4671.
63. Tan, H.S.; Yan, K.Y. "A comparative study on the production of ohmic contacts on Si by pulsed laser irradiation and by furnace heating" Sing, J. Phys., Vol. 3, No. 1, 1986 : 63-73.
64. Aspnes, D.E.; Studna, A.A.; "Chemical etching and cleaning procedures for Si, Ge, and some III-V compound semiconductors". Appl. Phys. Lett., 39(4), 1981 : 316-318.

65. JCPDS., Selected Powder Diffraction Data for Metals and Alloys, Vol. II, International Centre for Diffraction Data, 1978 : 23-209.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ความหนาแน่นของพาหะอิสระที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน

ถ้าสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำมีทั้งชนิดผู้ให้และผู้รับ ที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อนสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการ

$$\begin{aligned}
 n + N_A^- &= p + N_D^+ \\
 \text{หรือ } n + (N_A - n_a) &= p + (N_D - n_d) \\
 \text{หรือ } n + n_d + N_A &= p + N_D + n_a \quad (1)
 \end{aligned}$$

เมื่อ n_d คือความหนาแน่นของผู้ให้ที่ไม่ถูกไอออไนซ์ (un-ionized donors) (49) โดยที่

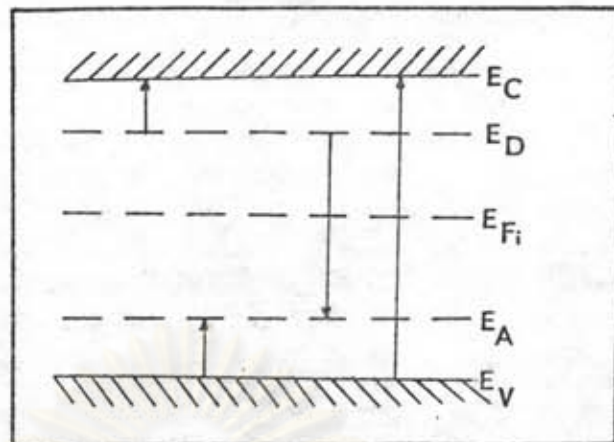
$$n_d = \frac{N_d}{1 + \frac{1}{g} \exp[(E_D - E_F)/kT]} \quad (2)$$

g คือแฟกเตอร์ที่สถานะพื้น⁴⁸ (ground-state degeneracy factor) และ n_a คือความหนาแน่นของผู้รับที่ไม่ถูกไอออไนซ์ (un-ionized acceptors) โดยที่

$$n_a = \frac{N_A}{1 + \frac{1}{g} \exp[(E_F - E_A)/kT]} \quad (3)$$

ในกรณีที่ $(N_D - N_A) \ll N_C$ แล้ว E_F จะอยู่ในช่วงระหว่าง E_D และ E_{Fi} แต่อยู่ก่อนไปทาง E_{Fi} ดังนั้น n_d จะน้อยกว่า N_D มากจึงตัดทิ้งได้ และความหนาแน่นของผู้รับจะถูกไอออไนซ์หมด ดังนั้นสมการที่ (1) จะกลายเป็น

$$n + N_A = p + N_D \quad (4)$$



รูปที่ 1 แสดงทิศทางการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่มีสิ่งเจือปนทั้งชนิดผู้ให้และผู้รับ

จากสมการที่ (7.5), (7.6) และ (7.7) สำหรับในกรณี $N_D > N_A$ จะได้ว่า (48,49)

$$n_n = \frac{1}{2} [N_D - N_A + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}] \quad (5)$$

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} \quad (6)$$

โดยที่ n_n คือพาหะข้างมาก (majority carrier) ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

p_n คือพาหะข้างน้อย (minority carrier) ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

ในทำนองเดียวกันสำหรับในกรณี $N_A > N_D$ จะได้ว่า

$$p_p = \frac{1}{2} [N_A - N_D + \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2}] \quad (7)$$

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} \quad (8)$$

โดยที่ p_p คือพาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำชนิดพี

n_p คือพาหะข้างน้อยของสารกึ่งตัวนำชนิดพี

$|N_D - N_A| \ll n_i$ สมการที่ (3) และ (5) จะกลายเป็น

$$n_n \approx n_i + \frac{1}{2}(N_D - N_A) \quad (9)$$

$$p_p \approx n_i + \frac{1}{2}(N_A - N_D) \quad (10)$$

จากสมการที่ (9) และ (10) จะเห็นว่าพาหะข้างมากจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพาหะชนิดอินทรินสิค (intrinsic carrier densities) จะยิ่งเด่นชัดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงอุณหภูมินี้เรียกว่า ช่วงอินทรินสิค (intrinsic region)

แต่ถ้า $|N_D - N_A| \gg n_i$ สมการที่ (5) และ (7) จะกลายเป็น (48, 50)

$$n_n \approx N_D - N_A \quad (11)$$

$$p_p \approx N_A - N_D \quad (12)$$

ในช่วงนี้อุณหภูมิต่ำ พาหะส่วนใหญ่จะโตมาจากสิ่งเจือปนซึ่งถูกไอออไนซ์หมดทำให้ความหนาแน่นของพาหะคงที่ จึงเรียกช่วงนี้ว่าเอ็กซ์ทรินสิค (extrinsic region)

สำหรับในช่วงอุณหภูมิต่ำ ๆ หรือในกรณีที่ความหนาแน่นของสิ่งเจือปนมีมากและ $N_D > N_A$ พลังงานความร้อน (thermal energy) ไม่สามารถจะไอออไนซ์อะตอมของสิ่งเจือปนได้ทั้งหมด ดังนั้น n_d ในสมการที่ (1) จึงตัดทิ้งไม่ได้อีกต่อไป แต่โฮลในแถบวาเลนซ์ (p) และ n_a มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้งได้ ฉะนั้นสมการที่ (1) จะกลายเป็น

$$n + n_d + N_A = N_D \quad (13)$$

แทนสมการที่ (2) ลงใน (13) จะได้

$$\begin{aligned}
 n &= N_D - N_A - \frac{N_D}{1 + \frac{1}{2} \exp[(E_D - E_F)/kT]} \\
 &= N_D - N_A - \frac{2N_D}{2 + \exp[(E_D - E_F)/kT]}
 \end{aligned}$$

$$2n + n \exp[(E_D - E_F)/kT] = 2N_D + N_D \exp[(E_D - E_F)/kT] - 2N_A - N_A \exp[(E_D - E_F)/kT] - 2N_D \quad (14)$$

แต่ $E_d = E_C - E_D$
 ถ้าให้ $N'_C = \frac{1}{2} N_C \exp(-E_d/kT)$

$$2n + \frac{2n}{N_C} N'_C \exp[(E_C - E_F)/kT] = \frac{2N_D}{N_C} N'_C \exp[(E_C - E_F)/kT] - 2N_A - \frac{2N_A}{N_C} N'_C \exp[(E_C - E_F)/kT] \quad (15)$$

$$n + \frac{nN'_C}{N_C \exp(-\frac{E_C - E_F}{kT})} = \frac{N_D N'_C}{N_C \exp[-\frac{E_C - E_F}{kT}]} - N_A - \frac{N_A N'_C}{N_C \exp[-\frac{E_C - E_F}{kT}]}$$

$$n + N'_C = \frac{N_D N'_C}{n} - N_A - \frac{N_A N'_C}{n}$$

$$n^2 + n(N_A + N'_C) - N'_C(N_D - N_A) = 0 \quad (16)$$

$$n = -\frac{1}{2}(N_A + N'_C) + \frac{1}{2}[(N_A + N'_C)^2 + 4N'_C(N_D - N_A)]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

ที่อุณหภูมิค่า $E_d \gg kT$ แล้ว N'_C จะมีค่าน้อย

กระจายเทอมที่สองของสมการที่ (17) ด้วยอนุกรมไบโนเมียล (binomial series) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 [(N_A + N'_C)^2 + 4N'_C(N_D - N_A)]^{\frac{1}{2}} &= (N_A + N'_C) \left[1 + 4N'_C \frac{(N_D - N_A)}{(N_A + N'_C)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= (N_A + N'_C) \left[1 + 2N'_C \frac{(N_D - N_A)}{(N_A + N'_C)^2} + \dots \right] \\
 &= (N_A + N'_C) + \frac{2(N_D - N_A)}{(N_A + N'_C)} N'_C + \dots \quad (18)
 \end{aligned}$$

แทนสมการที่ (18) ลงในสมการที่ (17) จะได้

$$n = \frac{N'_C(N_D - N_A)}{2(N_A + N'_C)} \quad (19)$$

ในกรณี $N_A \gg N'_C$

สมการที่ (19) จะกลายเป็น

$$\begin{aligned}
 n &= N'_C \frac{(N_D - N_A)}{2N_A} \\
 &= \frac{N_D - N_A}{2N_A} N'_C \exp(-E_d/kT) \quad (20)
 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ $N_D \gg N'_C \gg N_A$ จากสมการที่ (16) เอา N_D ทหารตลอดจะได้

$$\frac{n^2}{N_D} + n \frac{(N_A + N'_C)}{N_D} - \frac{N'_C(N_D - N_A)}{N_D} = 0$$

$$\frac{n^2}{N_D} - N'_C = 0$$

$$n^2 = N'_C N_D$$

$$n = (N_C N_D)^{1/2}$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{2}} (N_C N_D)^{1/2} \exp(-E_d/2kT) \quad (21)$$

ดังนั้นในช่วงของอุณหภูมิค่า ๆ ความหนาแน่นของพาหะอิสระ (n) จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสิ่งเจือปนชนิดผู้ให้ที่ถูกล็อกอินซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ (20) หรือ (21) ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขคอมเพนเซชัน (compensation conditions) ช่วงนี้จึงเรียกว่า ช่วงฟรีซเอาท์ (freeze-out region)

ในทำนองเดียวกันในช่วงอุณหภูมิค่า ๆ และ $N_A > N_D$ สมการที่(1)จะกลายเป็น

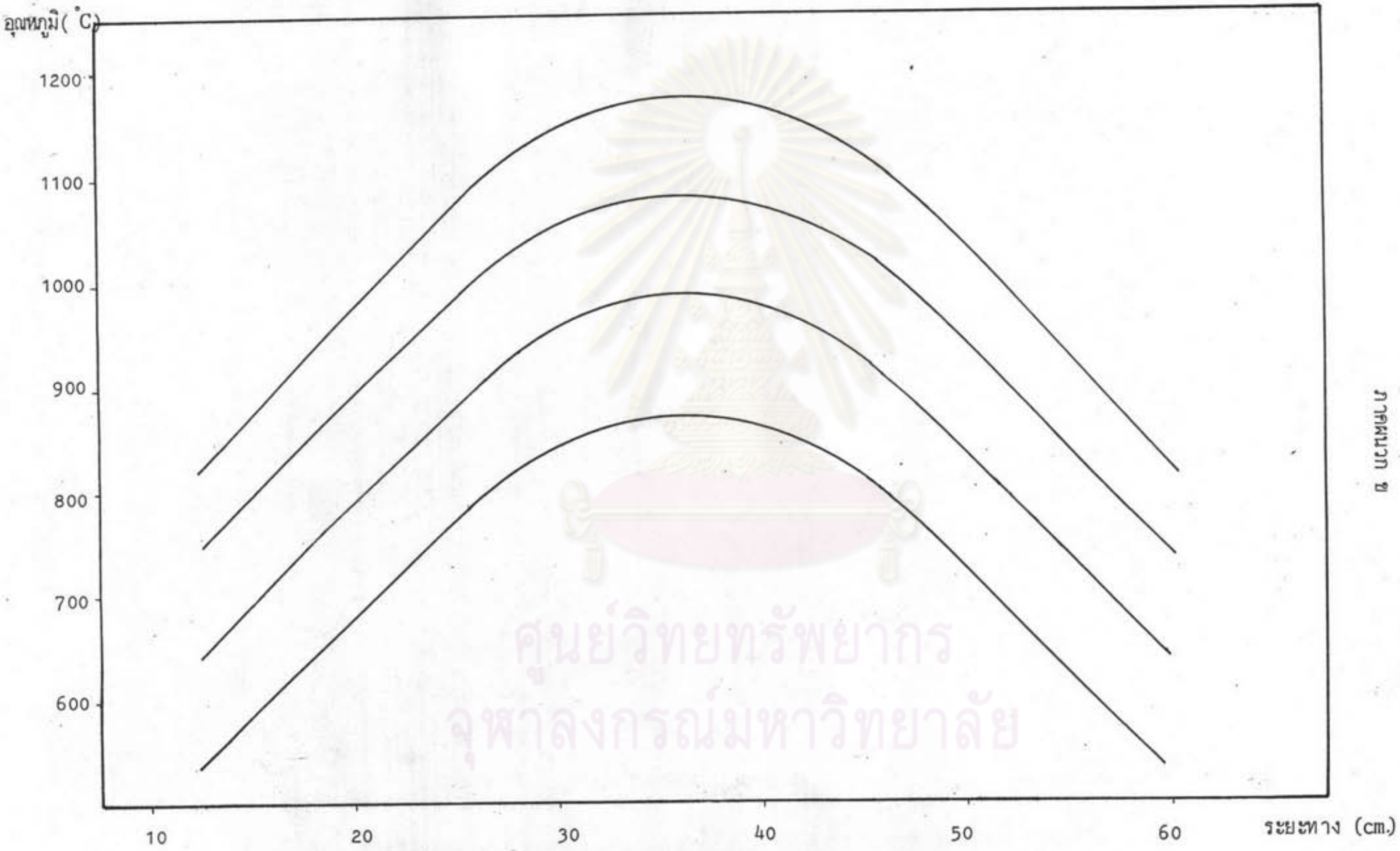
$$p + n_a = N_A - N_D \quad (21)$$

แทนสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (21) ในกรณีที่ $N_D \gg N_V'$ เมื่อ $N_V' = \frac{1}{2} N_V \exp(-E_a/kT)$ จะได้ว่า

$$p \approx \frac{(N_A - N_D)}{2N_D} N_V \exp(-E_d/kT) \quad (22)$$

และในกรณีที่ $N_A \gg N_V' \gg N_D$ จะได้ว่า

$$p \approx \frac{1}{\sqrt{2}} (N_V N_A)^{1/2} \exp(-E_a/2kT) \quad (23)$$



ภาพประกอบ ๒

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิเตาในแนวเฉียง 45 องศา

ภาคผนวก ค.

23-209

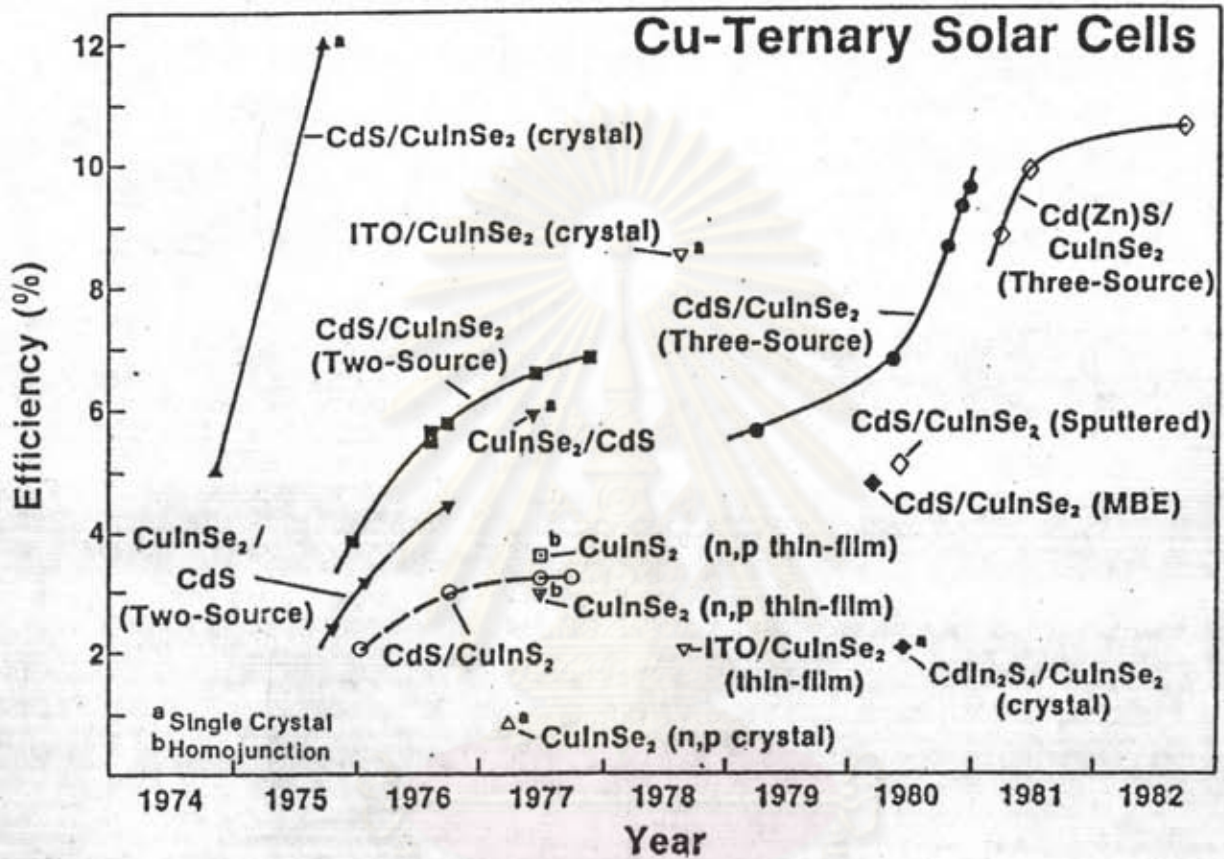
| d | 2.04 | 1.74 | 3.34 | 5.20 | (CuInSe ₂) ₁₆₀ | ★ | | | | | |
|--|------|------|------|------|---------------------------------------|-------|------------------|---------|--------|------------------|----------|
| 1/1 ₁ | 100 | 85 | 70 | 6 | Copper Indium Selenide | | | | | | |
| Rad. CuK α λ 1.5418 Filter Ni Dia. 114.6mm Cut off 1/1 ₁ Microdensitometer Ref. Parkes et al., Dept. of Electrical Engineering, University of Salford, England | | | | | | d A | 1/1 ₁ | hkl | d A | 1/1 ₁ | hkl |
| Sys. Tetragonal S.G. 142d (122) a_0 5.782 \pm 0.001 c_0 11.621 \pm 0.001 C 2.010 α β γ Z [4] Dx [5.75] Ref. Ibid. | | | | | | 5.20 | 6 | 101 | 0.9777 | 30 | 516,532 |
| | | | | | | 3.34 | 70 | 112 | .9482 | 2 | 437,507* |
| Seal-conducting compound. Prepared from a stoichiometric mixture of the elements (99.9998 % Cu, 99.9999 % In and 99.9998 % Se); mixture sealed under vacuum in a quartz capsule, melted, powdered and annealed at 790°C. | | | | | | 3.20 | 6 | 103 | .9180 | 15 | 0212 |
| | | | | | | 2.52 | 15 | 211 | .9140 | 30 | 620,064 |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 2.15 | 6 | 105,213 | .8821 | 20 | 3211 |
| | | | | | | 2.04 | 100 | 204,220 | .8609 | 6 | 509,439 |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.900 | 6 | 301 | .8415 | 10 | 545,633 |
| | | | | | | 1.743 | 85 | 116,312 | .8357 | 15 | 448 |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.480 | 6 | 305,323 | .8255 | 8 | 529 |
| | | | | | | 1.446 | 25 | 400 | .8134 | 8 | 1114 |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.393 | 4 | 217,411 | .8115 | 20 | 5114 |
| | | | | | | 1.327 | 35 | 316,332 | .8097 | 30 | 712,552 |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.256 | 2 | 109,307 | | | |
| | | | | | | 1.200 | 2 | 415 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.181 | 60 | 424 | | | |
| | | | | | | 1.151 | 6 | 501,431 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.114 | 25 | 336,512 | | | |
| | | | | | | 1.070 | 8 | 417,521 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.035 | 4 | 505,435 | | | |
| | | | | | | 1.025 | 20 | 048 | | | |

27-1402

| d | 3.14 | 1.92 | 1.64 | 3.14 | (Si) _{8F} | ★ | | | | | |
|---|------|------|------|------|--------------------|---------|------------------|-----|-----|------------------|-----|
| 1/1 ₁ | 100 | 55 | 30 | 100 | Silicon | | | | | | |
| Rad. CuK α λ 1.5405981 Filter Mono. Dia. Cut off 1/1 ₁ Diffractometer 1/1 cor. = 4.7 Ref. NBS Monograph 25, Sec. 13, 35 (1976) | | | | | | d A | 1/1 ₁ | hkl | d A | 1/1 ₁ | hkl |
| Sys. Cubic S.G. Fd3m (227) a_0 5.43085(4) b_0 c_0 A C α β γ Z 8 Dx 2.329 Ref. Ibid. | | | | | | 3.13552 | 100 | 111 | | | |
| | | | | | | 1.92011 | 55 | 220 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.63747 | 30 | 311 | | | |
| | | | | | | 1.35772 | 6 | 400 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.24593 | 11 | 331 | | | |
| | | | | | | 1.10857 | 12 | 422 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | 1.04517 | 6 | 511 | | | |
| | | | | | | 0.96005 | 3 | 440 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | .91799 | 7 | 531 | | | |
| | | | | | | .85870 | 8 | 620 | | | |
| eo n ω β ϵ γ Sign 2V D mp Color Ref. Ibid. | | | | | | .82820 | 3 | 533 | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Pattern at 25 \pm 0.1°C. Internal standard: W. This sample is NBS Standard Reference Material #640. d's calculated from precision measurement of a_0 . a_0 uncorrected for refraction. To replace 26-1481. | | | | | | | | | | | |

ไฟล์มาตรฐานของผลึกผง CuInSe₂ (บน) และ Si (ล่าง)

ภาคผนวก ง.



การวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำ CuInSe₂
 (ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2517 - 2525)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายรัฐทินัย แก้วแดง เกิดเมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2503
ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เมื่อ พ.ศ. 2526 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต ในระหว่างการศึกษา
ได้รับทุนจากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ในปีการศึกษา 2527-2528



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย