

เอกสารอ้างอิง

1. Braun, F. Poggendorff's Annalen, 153, 556, 1874.
2. Pickard, G.W. US. Patent No.836531, 1906.
3. Schottky, W., Störmer, R., and Waibel, F. Z. Hochfrequenztechnik, 37, 162, 1931.
4. Wilson, A.H. Proc. Roy. Soc. A, 136, 487, 1932.
5. Schottky, W. Z. Physics, 113, 367, 1939.
6. Mott, N.F. Poc, Cambridge Phil. Soc., 34, 568, 1938.
7. Bethe, H.A. M.I.T. Radiation Lab. Rep., 43-12, 1942.
8. Bardeen, J. Physical Review, 71, 717, 1947.
9. Rhoderick, E.H. Metal-semiconductor Contacts, Clarendon Press, Oxford, 1978.
10. Crowell, C.R., and Sze, S.M. Solid State Electronics, 9, 1035, 1966.
11. Goodman, A.M. Journal of Applied Physics, 34, 329, 1963.
12. Goodman, A.M. Journal of Applied Physics, 35, 573, 1964.
13. Archer, R.J., and Atalla, M.M. Ann. N.Y. Acad. Sci., 101, 697, 1963.
14. Kahng, D. Bell System Technology Journal, 42, 215, 1964.
15. Mead, C.A. Solid State Electronics, 9, 1023, 1966.
16. Cowley, A.M. Journal of Applied Physics, 37, 3024, 1966.
17. Seitz, F. Modern theory of solids, McGraw-Hill, New York, 1940.
18. Many, A., Goldstein, Y., and Grover, N.B. Semiconductor Surfaces, North-Holland, Amsterdam, 1965.
19. Heine, V. Proc. Roy. Soc. A, 331, 307, 1972.
20. สุทิน เวทย์วัฒน์. "ลักษณะแถบพลังงานของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำในสภาวะสมดุลความร้อน" ใน การประชุมทางวิชาการไฟฟ้า ครั้งที่ 1, หน้า 1-1-1 ถึง 1-1-10. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหาร, 2521.

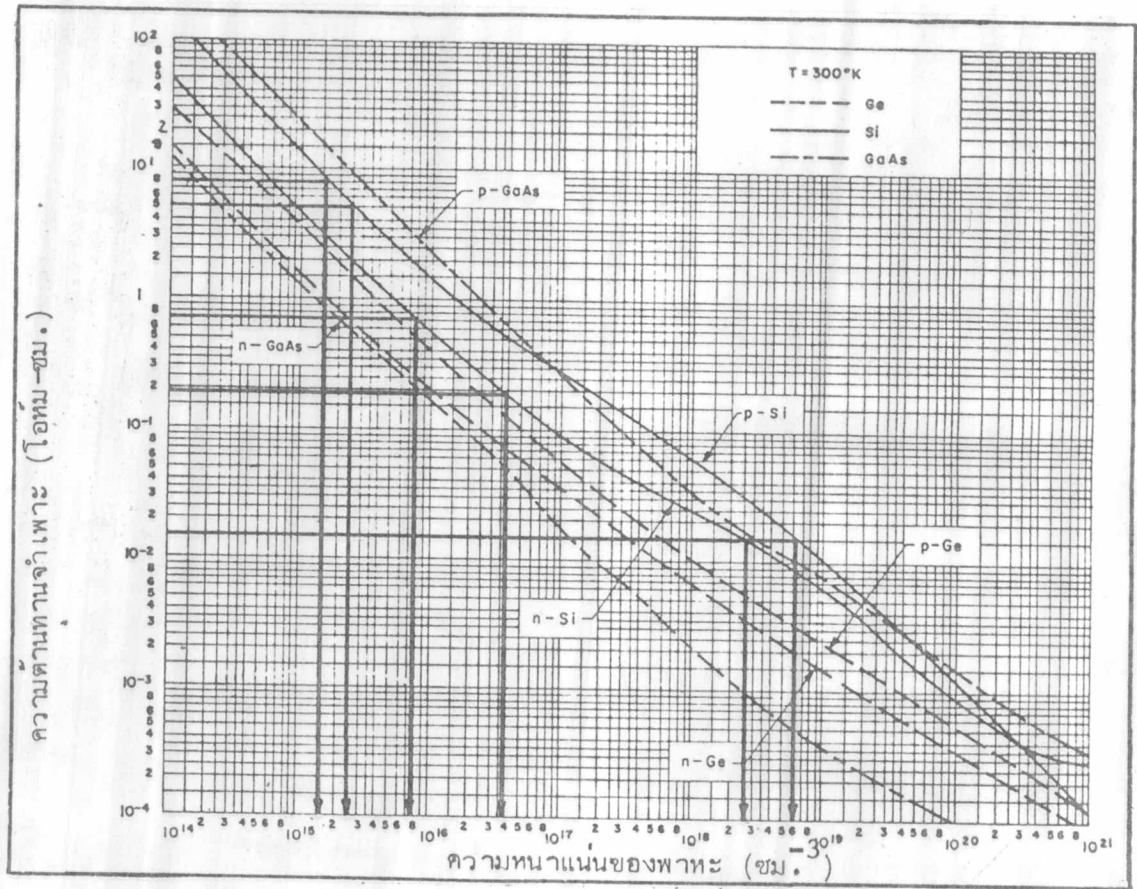
21. Milnes, A.G., and Feucht, D.L. Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions, Academic Press, London, 1972.
22. Cowley, A.M., and Sze, S.M. Journal of Applied Physics, 36, 3213, 1965
23. Atalla, M.M. Proc. Munich Symp. Microelectron., p. 123, Oldenberg, Munich, 1966.
24. Schottky, W., and Spenke, E. Wiss. Veroff. Siemens-Werken, 18, 225, 1939.
25. Wagner, C. Physics Z. 32, 641, 1931.
26. Crowell, C.R., and Beguwala, M. Solid State Electronics, 14, 1149, 1971.
27. Arizumi, T., and Hirose, M. Jap. J. Appl. Phys., 8, 749, 1969
28. Smith, B.L. Electron. Lett. 4, 332, 1968.
29. Gol'd berg, Y.A., Nasledov, D.N., and Tsarenkov, B.V. Soviet Phys. Semicond., 9, 337, 1975.
30. Loeb, L.B. The kinetic theory of gases, p. 42, Dover Publications Inc., New York, 1961.
31. Padovani, F.A., and Stratton, R. Solid State Electronics, 9, 695, 1966.
32. Crowell, C.R., and Rideout, V.L. Solid State Electronics, 12, 89, 1969.
33. Shockley, W., and Read, W.T. Physical Review, 87, 835, 1952.
34. Hall, R.N. Physical Review, 87, 387, 1952.
35. Sah, C.T., Noyce, R.N., and Shockley, W. Proc. IRE., 45, 1228, 1957.
36. Henisch, H.K. Rect ifying semiconductor contacts, Oxford University Press, Oxford, 1957.

37. Scharfetter, D.L. Solid State Electronics, 8, 299, 1965.
38. Green., M.A., and Shewchun, J. Solid State Electronics, 16, 1141, 1973.
39. Yu, A.Y.C., and Snow, E.H. Journal of Applied Physics, 39, 3008, 1968.
40. Jäger, H., and Kosak, W. Solid State Electronics, 16, 357, 1973.
41. Andersson, L.P., Hyder, A., and Berg, S. Nuclear Instrumental Method, 114, 1, 1973.
42. Sze, S.M., Coleman, D.J., and Loya, A. Solid State Electronics, 14, 1209, 1971.
43. Lepselter, M.P., and Sze, S.M. Bell Syst. Tech. J., 47, 195, 1968.
44. Card, H.C., and Rhoderick, E.H. J. Phys. D : Appl. Phys., 4, 1602, 1971.
45. Crowell, C.R., Sze, S.M., and Spitzer, W.G. Appl. Phys. Lett., 4, 91, 1964.
46. Thanailakis, A. Proc. Manchester Conference on Metal - semiconductor Contacts, p. 59, Inst. Phys., London, 1974.
47. Blum, W., and Hogaboom, G.B. Principles of Electroplating and Electroforming., McGraw-Hill, New York, 1949.
48. Lowenheim, F.A., Ed. Modern Electroplating, Wiley, New York, 1963.
49. Sullivan, M.V., and Eigler, J.H. "Five metal hydrides as alloying agents on silicon", J. Electrochem. Soc., 103, 218, 1956.
50. Mullins, F.H., and Brunnschweiler, A. Solid State Electronics, 19, 47 1976.
51. Sinha, A.K., and Poate, J.M. Appl. Phys. Lett., 23, 666, 1973.

52. Warner, R.M. Jr., Ed. Integrated Circuits, McGraw-Hill, New York, 1965.
53. Yu, A.Y.C. Solid State Electronics, 13, 239, 1970.
54. Vilms, J., and Wandiger, L. "Ohmic contacts to semiconductors", p.31 Electrochemical Society, New York, 1969.
55. Hooper, R.C., Cunningham, J.A., and Harper, J.G. Solid State Electronics, 8, 831, 1965.
56. McCaldin, J.O. Journal of Vacuum Science & Technology, 11, 990, 1974.
57. Martinez, A. Étude du Contact Métal Silicium Aspects Électriques et Physico-Chimiques, Toulouse, France, 1976.
58. Norde, H. J. Appl. Phys., 50(7), 1979.
59. Fowler, R.H. Phys. Rev. 38, 45, 1931.
60. Anderson, C.L., Crowell, C.R., and Kao, T.W. Solid State Electronics, 18, 705, 1975.
61. Turner, M.J., and Rhoderick, E.H. Solid State Electronics, 11, 291, 1968.
62. Val des, L.B. Proc. IRE, 42, 420, 1954.
63. Berger, H.H. "Contact Resistance and Contact Resistivity", J. Electrochem. Soc. : Solid-State Science and Technology, Vol. 119, No. 4, 1972.
64. Ting, C.Y., and Chen, C.Y. Solid State Electronics, 14, 433, 1971.
65. Murrmann, H., and Widmann, D. Solid State Electronics, 12, 879, 1969.
66. ชีระยุทธ อุทานนท์ และ สิทธิชัย โกโดยอุตม. "ข้อดีที่ไดโอด" ในการประชุมทางวิชาการไฟฟ้า ครั้งที่ 1, หน้า 1-17-1 ถึง 1-17-32, กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหาร, 2521

67. Sze, S.M. Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, Inc.,
New York, 1969.
68. Solid State Electronics Laboratory Manual, University of Cincinnati,
America.
69. Lue, J.T. Appl. Phys. Lett., 34(10), 1979.
70. Smith, B.L., and Rhoderick, E.H. Solid State Electronics, 14,
1971.
71. Basterfield, J., Shannon, J.M., and Gill, A. Solid State Electronics,
18, 290, 1975.
72. Grove, A.S. Physics & Technology of Semiconductor Devices, 1967.
73. "Selected vales of the thermodynamic properties of binary alloys",
American society for metals, 1973.
74. Reith, T.M., and Schick, J.D. Applied Physics Letters, 25, 9, 1974.

ภาคผนวก ก.



รูปที่ ผ. 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะกับค่าความหนาแน่นของพาหะของซิลิกอน, เยอรมันเนียมและแกลเลียมอาร์เซไนด์ ที่อุณหภูมิ 300°K (67)

ภาคผนวก ข.

กระบวนการมาตรฐานในการเตรียมตัวอย่างของผิวสัมผัสทั้งแบบเรคตีฟายอิงและแบบโอทมมิด

ข. 1 การทำความสะอาดแว่นผลึกตอนเริ่มต้น (68)

- สํารวจดูแว่นผลึก ถ้ามีรอยนิ้วมือรอยเปื้อนที่มองเห็นด้วยตา เป่าให้ใช้กระดาษจุ่ม Trichloroethylene เช็ดออก
- จุ่มแว่นผลึกในน้ำ D.I. หลายๆ ครั้ง
- ต้มแว่นผลึกใน Acetone เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างแว่นผลึกด้วยน้ำ D.I. เป็นเวลา 3 นาที
- ต้มในสารละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำ D.I. : H_2O_2 : NH_4OH เท่ากับ 5:1:1 ที่อุณหภูมิ $80 \pm 5^\circ$ เซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
- ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I. เป็นเวลา 3 นาที
- ต้มในสารละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำ D.I. : H_2O_2 : HCl เท่ากับ 8:2:1 ที่อุณหภูมิ $80 \pm 5^\circ$ เซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
- ล้างแว่นผลึกด้วยน้ำ D.I. เป็นเวลา 3 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- ต้มในสารละลาย $Su1Nit$ (H_2SO_4 : HNO_3 = 1:1) ที่อุณหภูมิ 85° เซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I. เป็นเวลา 3 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- Etch แว่นผลึกในสารละลาย 10 % HF ($48\% HF$: น้ำ = 1:4) เป็นเวลา 1 นาที
- ต้มในน้ำ D.I. เดือดนาน 5 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- นำแว่นผลึกไปส่องกล้องดูความสะอาด ถ้ายังสกปรกก็ทำใหม่อีกครั้ง

ข. 2 การทำชั้นออกไซด์

ตั้งอุณหภูมิเตาทำออกไซด์เท่ากับ 1050° เซลเซียส และอุณหภูมิของกระเปาะน้ำ 85° เซลเซียส

- ใส่แว่นผลึกเข้าไปในเตา
- ผ่านก๊าซออกซิเจนแห้ง (ไม่ผ่านกระเปาะน้ำ) นาน 10 นาที
- ผ่านก๊าซออกซิเจนเปียก (ผ่านกระเปาะน้ำ) นาน 30 นาที (ออกไซด์หนาประมาณ 3000 อังสตรอม) หรือ 60 นาที (ออกไซด์หนาประมาณ 5000 อังสตรอม)
- ผ่านก๊าซออกซิเจนแห้งนาน 10 นาที
- นำแว่นผลึกออกจากเตาไปเปรียบเทียบสีของผิวออกไซด์กับแว่นผลึกที่ทราบค่าความหนาของชั้นออกไซด์แล้ว

ข.3 Photolithographic techniques

- อบแว่นผลึกที่อุณหภูมิ 120° เซลเซียส นาน 30 นาที (ถ้าแว่นผลึกนำออกมาจากเตาทำชั้นออกไซด์ไม่เกิน 8 ชั่วโมง ชั้นตอนนี้ไม่จำเป็น) เพื่อไล่ความชื้น
- ทิ้งไว้ให้เย็นสักครู่
- เคลือบสารไวแสงแบบบวกโดยใช้เครื่องปั่นแว่นผลึก ความเร็วในการปั่นแว่นผลึกเท่ากับ 5000 รอบ/นาที ปั่นนาน 20 นาที
- อบแว่นผลึกที่อุณหภูมิ 90° เซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อให้สารไวแสงแข็งตัว
- ทิ้งไว้ให้เย็นสักครู่
- นำไปฉายแสงเหนือม่วงโดยมี Mask ประกอบปิดบนผิวที่เคลือบสารไวแสงฉายแสง นาน 10 วินาที
- Develop เอาสารไวแสงส่วนที่ถูกแสงออก จะได้ Pattern เหมือน Mask ที่ประกอบ
- อบแว่นผลึกที่อุณหภูมิ 120° เซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อให้สารไวแสงส่วนที่เหลือยึดติดกับแว่นผลึกแน่นขึ้น
- ทิ้งให้เย็นสักครู่
- นำไป Etch ในสารละลาย ดังมีรายละเอียดดังนี้

Etch อลูมิเนียม ใช้สารละลาย H_3PO_4 : HNO_3 : น้ำ D.I. = 200:25:35

Etch ทอง ใช้สารละลายกรดกัดทอง ($HCl:HNO_3 = 3:1$)

Etch เงิน ใช้สารละลาย HNO_3 : น้ำ D.I. = 1:3

Etch ดีบุก ใช้สารละลาย HCl : น้ำ D.I. = 1:2

Etch SiO_2 ใช้สารละลาย NH_4F : HF : น้ำ D.I. = 115:40:160

- ล้าง (Strip) สารไวแสงที่เหลือออกโดยใช้ Acetone แล้วล้างด้วยน้ำ D.I. จนสะอาด
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

ข. 4 การ diffuse และ drive-in สารเจือปนฟอสฟอรัสและโบรอน

* การ diffuse และ drive-in สารเจือปนฟอสฟอรัส ทำให้สารกึ่งตัวนำมีค่าความหนาแน่นของพาหะจำพวก Donor มากขึ้น ด้วยขั้นตอนดังนี้

- อุณหภูมิเตามีค่าเท่ากับ 1000° เซลเซียส
- ใส่แวนผลึกเข้าไปในเตา
- ผ่านก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนบริสุทธิ์ด้วยอัตราไหล 50 และ 500 ลบ.ซม. ต่อ นาที เข้าไปในเตาเป็นเวลานาน 10 นาที
- ผ่านก๊าซไนโตรเจนซึ่งผ่านกระเปาะบรรจุ $POCl_3$ เข้าไปในเตาเป็นเวลา 20 นาที
- ปิดก๊าซไนโตรเจนที่ผ่านกระเปาะบรรจุ $POCl_3$ แล้วปล่อยให้ก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนไหลผ่านเข้าไปในเตานาน 10 นาที
- Drive-in โดยปิดออกซิเจนผ่านแต่ไนโตรเจนบริสุทธิ์เข้าไปในเตา เป็นเวลานาน 10 ชั่วโมง
- นำแวนผลึกออกจากเตา

* การ diffuse และ drive-in สารเจือปนโบรอน ทำให้สารกึ่งตัวนำมีค่าความหนาแน่นของพาหะจำพวก Acceptor มากขึ้น ด้วยขั้นตอนดังนี้

- ใส่แวนผลึกโดยมีแวนโบรอนไนตรายด์ (BN) ซึ่งถูก Activated และ Stabilized แล้ว ประกบด้านหน้าหลังของแวนผลึกเข้าไปในเตา diffuse เตามีอุณหภูมิ 1100° เซลเซียส

- ผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เข้าไปในเตาด้วยอัตราไหล 500 ลบ.ซม. ต่อนาที เป็นเวลานาน 25 นาที
- ผ่านก๊าซออกซิเจนแห้งนาน 15 นาที
- ผ่านก๊าซออกซิเจนเปียกนาน 30 นาที
- ผ่านก๊าซออกซิเจนแห้งนาน 15 นาที
- นำแว่นผลึกออกจากเตาแล้ว Etch ชั้นอ็อกไซด์ออกตามวิธีการในภาคผนวก ข. 5
- ใส่แว่นผลึกเข้าไปในเตา Drive-in ซึ่งมีอุณหภูมิ 1100 เซลเซียส
- ผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์นาน 2 ชั่วโมง
- นำแว่นผลึกออกจากเตา

ข. 5 การทำทำความสะอาดแว่นผลึก

- ล้างแว่นผลึกด้วยน้ำ D.I. นาน 3 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- จุ่มในสารละลาย SulNit ($H_2SO_4 : HNO_3 = 1:1$) ซึ่งมีอุณหภูมิ 85° เซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างแว่นผลึกด้วยน้ำ D.I. นาน 3 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- Etch แว่นผลึกในสารละลาย 10 % HF นาน 30 วินาที
- ล้างแว่นผลึกด้วยน้ำ D.I. นาน 3 นาที
- ท้มแว่นผลึกในน้ำ D.I. เป็นเวลานาน 3 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์

ประวัติ

นายสมบุรณ์ จงชัยกิจ เกิดเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2497 ณ. จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาชั้นวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2519 เข้าทำงานที่การไฟฟ้าภูมิภาคในตำแหน่งวิศวกรอันดับ 1 เป็นเวลา 2 ปี ปีพ.ศ.2521 ลาออกเพื่อมาศึกษาต่อ

ในขณะที่ศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ได้มีโอกาสเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมทางวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า 8 สถาบัน ครั้งที่สอง ณ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2522

