

เอกสารอ้างอิง



1. Omar, M. A. Elementary Solid State Physics. 1st ed. Philippines: Addison-Wesley Publishing Co., 1975.
2. Burger, R. M., and Donovan, R. P. Fundamentals of Silicon Integrated Device Technology. Vol. 1. New Jersey: Prentice-Hall, 1967.
3. Grove, A. S. Physics & Technology of Semiconductor Devices. New York: John Willey & Sons, 1967.
4. Hamilton, D. J., and Howard, W. G. Basic Integrated Circuit Engineering. New York: McGraw-Hill Book Co., 1975.
5. Gandhi, S. K. The Theory and Practice in Microelectronics. New York: John Wiley & Sons, 1968.
6. Kurtz, A. D., and Yee, R. "Diffusion of Boron into Silicon." Journal of Applied Physics 31 (February 1960): 303-305.
7. Fair, R. B. "Boron Diffusion in Silicon-Concentration and Orientation Dependence, Background Effects, and Profile Estimation." Journal of the Electrochemical Society 122 (June 1975): 800-805.
8. Vick, G. L., and Whittle, K. M. "Solid Solubility and Diffusion Coefficients of Boron in Silicon." Journal of the Electrochemical Society 116 (August 1969): 1142-1144.
9. Brown, D. M., and Kennicott, P. R. "Glass Source B Diffusion in Si and SiO₂." Journal of the Electrochemical Society 118 (February 1971): 293-300.

10. Muench, W. V., and Gessert, C. "Low Surface Concentration of Boron in Silicon by Diffusion Through Silicon Dioxide." Journal of the Electrochemical Society 122 (December 1975): 1685-1688.
11. Runyan, W. R. Silicon Semiconductor Technology. New York: McGraw-Hill Book Co., 1965.
12. Sze, S. M. Physics of Semiconductor Devices. New York: John Wiley & Sons, 1969.
13. Wolf, H. F. Semiconductors. Vol. 9. Hungary: Pergamon Press, 1969.
14. Parekh, P. C., and Goldstein, D. R. "The Influence of Reaction Kinetics Between BBr_3 and O_2 on the Uniformity of Base Diffusion." Proceedings of the IEEE 57 (September 1969): 1507-1512.
15. Negrini, P., Ravaglia, A., and Solmi, S. "Boron Predeposition in Silicon Using BBr_3 ." Journal of the Electrochemical Society 125 (April 1978): 609-913.
16. Arai, E., Nakamura, H., and Terunuma, Y. "Interface Reactions of B_2O_3 -Si System and Boron Diffusion into Silicon." Journal of the Electrochemical Society 120 (July 1973): 980-987.
17. Dominguez, E., Tamayo, E. L., and Blanchard, B. "Analytic Study of the Si-B Phase when B_2O_3 Is Diffused in Si." Journal of the Electrochemical Society 125 (September 1978): 1521-1524.
18. Weast, R. C. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 60th ed. Florida: CRC Press, 1979.

19. NFPA No. 491M. Manual of Hazardous Chemical Reactions. 5th ed.
Boston: 1975.
20. Busen, K. M., FitzGibbons, W. A., and Tsang, W. K. "Ellipsometric Investigations of Boron-Rich Layers on Silicon." Journal of the Electrochemical Society 115 (March 1968): 291-294.
21. The Carborundum Company. Technical Information Planar Diffusion Sources. New York: 1978.
22. Rupprecht, D., and Stach, J. "Oxidized Boron Nitride Wafers as an In-Situ Boron Dopant for Silicon Diffusions." Journal of the Electrochemical Society 120 (September 1973): 1266-1271.
23. Monkowski, J., and Stach, J. "System Characterization of Planar Source Diffusion." Solid State Technology 19 (November 1976): 38-43.
24. Stach, J., and Kruest, J. "A Versatile Boron Diffusion Process." Solid State Technology 19 (October 1976): 60-61,67.
25. Negrini, P., Nobili, D., and Solmi, S. "Kinetics of Phosphorus Predeposition in Silicon Using POCl_3 ." Journal of the Electrochemical Society 122 (September 1975): 1254-1260.
26. Runyan, W. R. Semiconductor Measurements and Instrumentation. New York: McGraw-Hill Book Co., 1975.
27. Crooke, M., and Lutsch, A. G. K. "An Expression for Sheet Resistivity Using Boron Nitride Source." Journal of the Electrochemical Society 124 (March 1977): 457-460.
28. Veeco Instruments Inc. Operation & Maintenance of Four Point Probe Model FPP-100. New York.

29. ประมวล วงศ์องา. "การศึกษาและการใช้แอนโนติกออกซิเดชัน เพื่อหา อิมเพียวริตี โพรไฟล์." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.
30. ชุมพล อัครเสน. "การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แบบห้วต่อ พีเอ็น จากแวนผลึกซิลิกอนซึ่งมีสภาพผิวขรุขระต่างๆ กัน" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

ตาราง ก1 แสดงคุณสมบัติของ Error Function (3)

$$\operatorname{erf}(x) \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-a^2} da$$

$$\operatorname{erfc}(x) \equiv 1 - \operatorname{erf}(x)$$

$$\operatorname{erf}(0) = 0$$

$$\operatorname{erf}(\infty) = 1$$

$$\operatorname{erf}(x) \cong \frac{2}{\sqrt{\pi}} x \quad \text{for } x \ll 1$$

$$\operatorname{erfc}(x) \cong \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-x^2}}{x} \quad \text{for } x \gg 1$$

$$\frac{d \operatorname{erf}(x)}{dx} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$$

$$\int_0^x \operatorname{erfc}(x') dx' = x \operatorname{erfc} x + \frac{1}{\sqrt{\pi}} (1 - e^{-x^2})$$

$$\int_0^\infty \operatorname{erfc}(x) dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}}$$

ตาราง ก2 แสดงค่า Error Function (11)

z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$
0.00	0.000 000	0.50	0.520 500	1.00	0.842 701	1.50	0.966 105
0.01	0.011 283	0.51	0.529 244	1.01	0.846 810	1.51	0.967 277
0.02	0.022 565	0.52	0.537 899	1.02	0.850 838	1.52	0.968 413
0.03	0.033 841	0.53	0.546 464	1.03	0.854 784	1.53	0.969 516
0.04	0.045 111	0.54	0.554 939	1.04	0.858 650	1.54	0.970 586
0.05	0.056 372	0.55	0.563 323	1.05	0.862 436	1.55	0.971 623
0.06	0.067 622	0.56	0.571 616	1.06	0.866 144	1.56	0.972 628
0.07	0.078 858	0.57	0.579 816	1.07	0.869 773	1.57	0.973 603
0.08	0.090 078	0.58	0.587 923	1.08	0.873 326	1.58	0.974 547
0.09	0.101 281	0.59	0.595 936	1.09	0.876 803	1.59	0.975 462
0.10	0.112 463	0.60	0.603 856	1.10	0.880 205	1.60	0.976 348
0.11	0.123 623	0.61	0.611 681	1.11	0.883 533	1.61	0.977 207
0.12	0.134 758	0.62	0.619 411	1.12	0.886 788	1.62	0.978 038
0.13	0.145 867	0.63	0.627 046	1.13	0.889 971	1.63	0.978 843
0.14	0.156 947	0.64	0.634 586	1.14	0.893 082	1.64	0.979 622
0.15	0.167 996	0.65	0.642 029	1.15	0.896 124	1.65	0.980 376
0.16	0.179 012	0.66	0.649 377	1.16	0.899 096	1.66	0.981 105
0.17	0.189 992	0.67	0.656 628	1.17	0.902 000	1.67	0.981 810
0.18	0.200 936	0.68	0.663 782	1.18	0.904 837	1.68	0.982 493
0.19	0.211 840	0.69	0.670 840	1.19	0.907 608	1.69	0.983 153
0.20	0.222 703	0.70	0.677 801	1.20	0.910 314	1.70	0.983 790
0.21	0.233 522	0.71	0.684 666	1.21	0.912 956	1.71	0.984 407
0.22	0.244 296	0.72	0.691 433	1.22	0.915 534	1.72	0.985 003
0.23	0.255 023	0.73	0.698 104	1.23	0.918 050	1.73	0.985 578
0.24	0.265 700	0.74	0.704 678	1.24	0.920 505	1.74	0.986 135
0.25	0.276 326	0.75	0.711 156	1.25	0.922 900	1.75	0.986 672
0.26	0.286 900	0.76	0.717 537	1.26	0.925 236	1.76	0.987 190
0.27	0.297 418	0.77	0.723 822	1.27	0.927 514	1.77	0.987 691
0.28	0.307 880	0.78	0.730 010	1.28	0.929 734	1.78	0.988 174
0.29	0.318 283	0.79	0.736 103	1.29	0.931 899	1.79	0.988 641
0.30	0.328 627	0.80	0.742 101	1.30	0.934 008	1.80	0.989 091
0.31	0.338 908	0.81	0.748 003	1.31	0.936 063	1.81	0.989 525
0.32	0.349 126	0.82	0.753 811	1.32	0.938 065	1.82	0.989 943
0.33	0.359 279	0.83	0.759 524	1.33	0.940 015	1.83	0.990 347
0.34	0.369 365	0.84	0.765 143	1.34	0.941 914	1.84	0.990 736
0.35	0.379 382	0.85	0.770 668	1.35	0.943 762	1.85	0.991 111
0.36	0.389 330	0.86	0.776 100	1.36	0.945 561	1.86	0.991 472
0.37	0.399 206	0.87	0.781 440	1.37	0.947 312	1.87	0.991 821
0.38	0.409 009	0.88	0.786 687	1.38	0.949 016	1.88	0.992 156
0.39	0.418 739	0.89	0.791 843	1.39	0.950 673	1.89	0.992 479
0.40	0.428 392	0.90	0.796 908	1.40	0.952 285	1.90	0.992 790
0.41	0.437 969	0.91	0.801 883	1.41	0.953 852	1.91	0.993 090
0.42	0.447 468	0.92	0.806 768	1.42	0.955 376	1.92	0.993 378
0.43	0.456 887	0.93	0.811 564	1.43	0.956 857	1.93	0.993 656
0.44	0.466 225	0.94	0.816 271	1.44	0.958 297	1.94	0.993 923
0.45	0.475 482	0.95	0.820 891	1.45	0.959 695	1.95	0.994 179
0.46	0.484 655	0.96	0.825 424	1.46	0.961 054	1.96	0.994 426
0.47	0.493 745	0.97	0.829 870	1.47	0.962 373	1.97	0.994 664
0.48	0.502 750	0.98	0.834 232	1.48	0.963 654	1.98	0.994 892
0.49	0.511 668	0.99	0.838 508	1.49	0.964 898	1.99	0.995 111

ตาราง ก2 แสดงค่า Error Function (ต่อ)

z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$
2.00	0.995 322	2.50	0.999 593	3.00	0.999 977 91	3.50	0.999 999 257
2.01	0.995 525	2.51	0.999 614	3.01	0.999 979 26	3.51	0.999 999 309
2.02	0.995 719	2.52	0.999 634	3.02	0.999 980 53	3.52	0.999 999 358
2.03	0.995 906	2.53	0.999 654	3.03	0.999 981 73	3.53	0.999 999 403
2.04	0.996 086	2.54	0.999 672	3.04	0.999 982 86	3.54	0.999 999 445
2.05	0.996 258	2.55	0.999 689	3.05	0.999 983 92	3.55	0.999 999 485
2.06	0.996 423	2.56	0.999 706	3.06	0.999 984 92	3.56	0.999 999 521
2.07	0.996 582	2.57	0.999 722	3.07	0.999 985 86	3.57	0.999 999 555
2.08	0.996 734	2.58	0.999 736	3.08	0.999 986 74	3.58	0.999 999 587
2.09	0.996 880	2.59	0.999 751	3.09	0.999 987 57	3.59	0.999 999 617
2.10	0.997 021	2.60	0.999 764	3.10	0.999 988 35	3.60	0.999 999 644
2.11	0.997 155	2.61	0.999 777	3.11	0.999 989 08	3.61	0.999 999 670
2.12	0.997 284	2.62	0.999 789	3.12	0.999 989 77	3.62	0.999 999 694
2.13	0.997 407	2.63	0.999 800	3.13	0.999 990 42	3.63	0.999 999 716
2.14	0.997 525	2.64	0.999 811	3.14	0.999 991 03	3.64	0.999 999 736
2.15	0.997 639	2.65	0.999 822	3.15	0.999 991 60	3.65	0.999 999 756
2.16	0.997 747	2.66	0.999 831	3.16	0.999 992 14	3.66	0.999 999 773
2.17	0.997 851	2.67	0.999 841	3.17	0.999 992 64	3.67	0.999 999 790
2.18	0.997 951	2.68	0.999 849	3.18	0.999 993 11	3.68	0.999 999 805
2.19	0.998 046	2.69	0.999 858	3.19	0.999 993 56	3.69	0.999 999 820
2.20	0.998 137	2.70	0.999 866	3.20	0.999 993 97	3.70	0.999 999 833
2.21	0.998 224	2.71	0.999 873	3.21	0.999 994 36	3.71	0.999 999 845
2.22	0.998 308	2.72	0.999 880	3.22	0.999 994 73	3.72	0.999 999 857
2.23	0.998 388	2.73	0.999 887	3.23	0.999 995 07	3.73	0.999 999 867
2.24	0.998 464	2.74	0.999 893	3.24	0.999 995 40	3.74	0.999 999 877
2.25	0.998 537	2.75	0.999 899	3.25	0.999 995 70	3.75	0.999 999 886
2.26	0.998 607	2.76	0.999 905	3.26	0.999 995 98	3.76	0.999 999 895
2.27	0.998 674	2.77	0.999 910	3.27	0.999 996 24	3.77	0.999 999 903
2.28	0.998 738	2.78	0.999 916	3.28	0.999 996 49	3.78	0.999 999 910
2.29	0.998 799	2.79	0.999 920	3.29	0.999 996 72	3.79	0.999 999 917
2.30	0.998 857	2.80	0.999 925	3.30	0.999 996 94	3.80	0.999 999 923
2.31	0.998 912	2.81	0.999 929	3.31	0.999 997 15	3.81	0.999 999 929
2.32	0.998 966	2.82	0.999 933	3.32	0.999 997 34	3.82	0.999 999 934
2.33	0.999 016	2.83	0.999 937	3.33	0.999 997 51	3.83	0.999 999 939
2.34	0.999 065	2.84	0.999 941	3.34	0.999 997 68	3.84	0.999 999 944
2.35	0.999 111	2.85	0.999 944	3.35	0.999 997 838	3.85	0.999 999 948
2.36	0.999 155	2.86	0.999 948	3.36	0.999 997 983	3.86	0.999 999 952
2.37	0.999 197	2.87	0.999 951	3.37	0.999 998 120	3.87	0.999 999 956
2.38	0.999 237	2.88	0.999 954	3.38	0.999 998 247	3.88	0.999 999 959
2.39	0.999 275	2.89	0.999 956	3.39	0.999 998 367	3.89	0.999 999 962
2.40	0.999 311	2.90	0.999 959	3.40	0.999 998 478	3.90	0.999 999 965
2.41	0.999 346	2.91	0.999 961	3.41	0.999 998 582	3.91	0.999 999 968
2.42	0.999 379	2.92	0.999 964	3.42	0.999 998 679	3.92	0.999 999 970
2.43	0.999 411	2.93	0.999 966	3.43	0.999 998 770	3.93	0.999 999 973
2.44	0.999 441	2.94	0.999 968	3.44	0.999 998 855	3.94	0.999 999 975
2.45	0.999 469	2.95	0.999 970	3.45	0.999 998 934	3.95	0.999 999 977
2.46	0.999 497	2.96	0.999 972	3.46	0.999 999 008	3.96	0.999 999 979
2.47	0.999 523	2.97	0.999 973	3.47	0.999 999 077	3.97	0.999 999 980
2.48	0.999 547	2.98	0.999 975	3.48	0.999 999 141	3.98	0.999 999 982
2.49	0.999 571	2.99	0.999 976	3.49	0.999 999 201	3.99	0.999 999 983

ภาคผนวก ข

ตาราง ข แสดงส่วนประกอบและคุณสมบัติของ BN Grade A และ M (21)

	Grade A	Grade M
Chemical composition, %		
Boron	41.50	17.0
Nitrogen	52.0	23.0
Oxygen	4.0-6.0	-
Boric oxide	5.0-8.0	<0.05
Carbon	<0.05	<0.05
Calcium	<0.02	<0.05
Chloride	<0.10	<0.05
Other	<0.20	<0.01
Silica	-	60.0
Density, g/cm ³	2.08	2.12
Maximum use temp., °C		
Inert atmosphere	>2,775	1,400
Oxidizing atmosphere	985	1,400
Water absorption		
% wt gain in 168 hr, 25°C, 80% RH	1.1	0.04

ภาคผนวก ค

ตาราง ค1 แสดงวิธีเตรียมแผ่น BN Grade A ก่อนนำมาใช้ (21)

Cleaning (Discretionary)

1. Degrease Trich./5 min.
2. Solvent Rinse Acetone/2 min.
3. Water Rinse DI Water/5 min. max.
4. Acid Clean Conc. HF/1 min.
5. Water Rinse DI Water/5 min. max.
6. Plasma Etching Alternative to steps 1-5

Activation & Reactivation

7. Dry 350-400°C/Dry N₂/1 hr.
8. Oxidize 900-950°C/Dry O₂/30 min.
9. Stabilize At use temperature

Storage

Dry Box* with N₂ purge
or 350-400°C/Dry N₂

*This storage procedure requires a bake-out run at the beginning of each day.

ตาราง ค2 แสดงวิธีเตรียมแผ่น BN Grade M26 และ M ก่อนนำมาใช้ (21)

Cleaning (Discretionary)

1. Degrease $H_2O - H_2O_2 - NH_4OH$ [5:1:1]
80°C/10 minutes
2. Water Rinse DI Water/5 minutes
3. Surface Clean $H_2O - H_2O_2 - HCl$ [6:1:1]
80°C/10 minutes
4. Water Rinse DI Water/5 minutes
5. Plasma Cleaning Alternative to Steps 1-4

Activation & Reactivation

6. Surface Etch Buffered HF/1 minute
7. Water Rinse DI Water/5 minutes max.
8. Dry 350-400°C/Dry N_2 /1 hour
9. Oxidize $1000-1050^\circ C [M26]$ /Dry O_2 /
 $1050-1100^\circ C [M]$ } 30 minutes
max.
10. Stabilize $975-1100^\circ C [M26]$ /Dry N_2 /
 $1100-1250^\circ C [M]$ } 60 minutes
min.

Storage (Activated Wafers)

Dry box* with N_2 purge or 350-400°C/Dry N_2

*This storage procedure requires a bake-out run at the beginning of each day.

ภาคผนวก ง

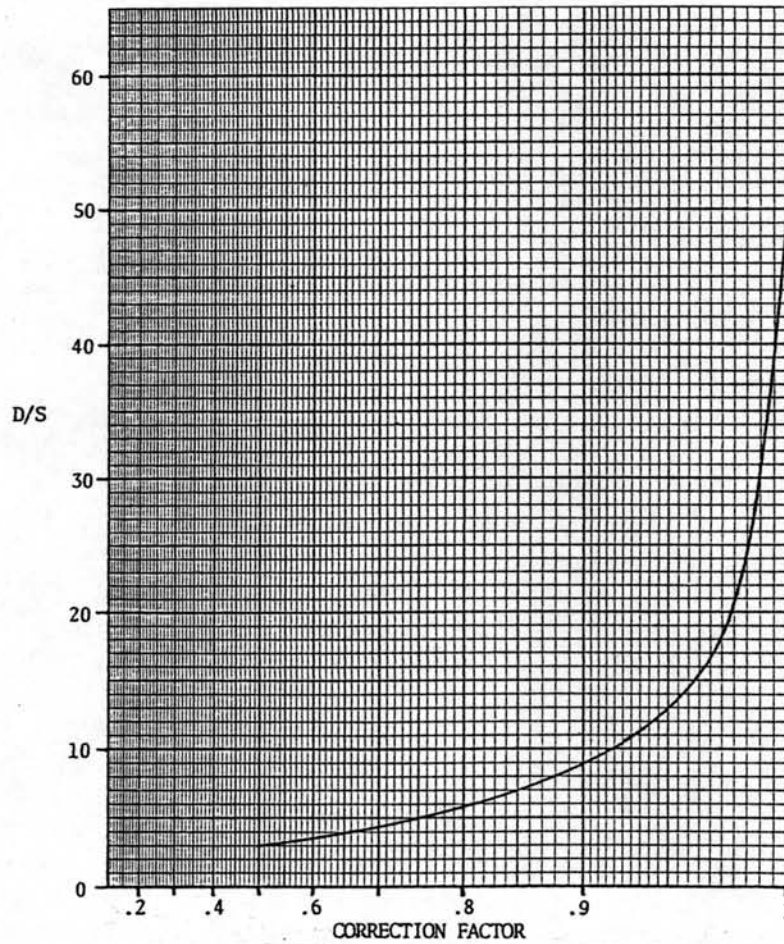
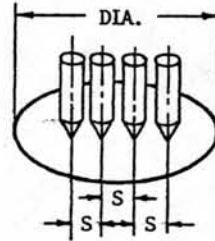
ลำดับขั้นในการทำความสะอาดแวนผลึกก่อนนำมาแพร์ซิม

- ล้างใน Trichlo. เดือด 5 นาที
- ล้างใน Acetone เดือด 10 นาที
- ล้างใน DI-Water เดือด 5 นาที
- ล้างใน conc.HNO₃ เดือด 10 นาที
- เป่าแวนผลึกให้แห้งด้วยก๊าซ N₂
- จุ่มใน HF 45 % เดือด 2 นาที
- ล้างใน DI-Water เดือด 10 นาที
- เป่าแวนผลึกให้แห้งด้วยก๊าซ N₂ จากนั้นแวนผลึกพร้อมที่จะใช้ในการทดลองแพร์ซิม

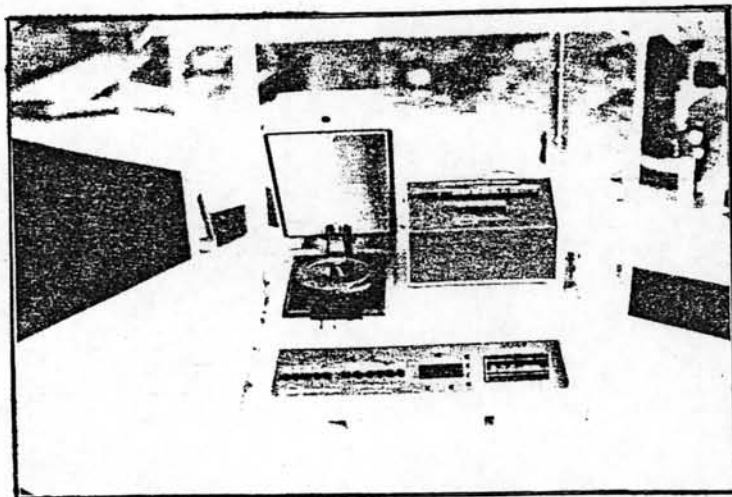
ภาคผนวก จ

รูป ก แสดง Geometry Correction ของการวัดค่าความต้านทานแผ่น
ด้วยเครื่องโพรบสี่เข็ม (Veeco model FPP-100) (28)

D/S	CORR.
∞	1.00
40	.995
20	.979
15	.963
10	.920
7.5	.866
5.0	.742
4.0	.646
3.0	.500

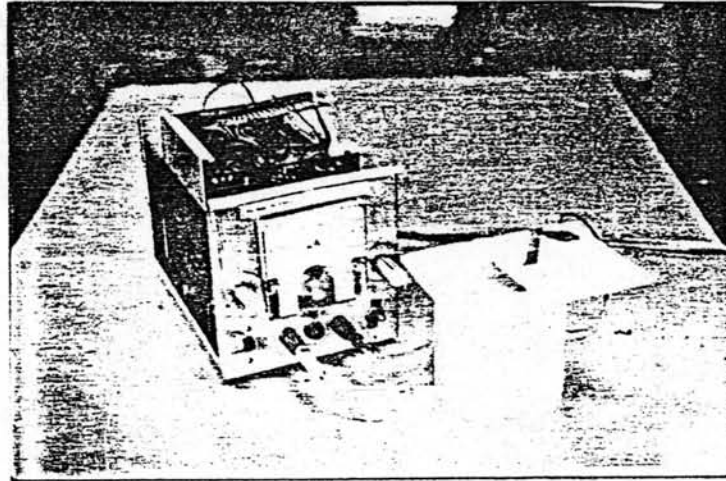


รูป ข แสดงเครื่องวัดโพรมีเทียม Veeco model FPP-100



ภาคผนวก ฉ

รูป ค แสดงเครื่องมือที่ใช้ทำ anodic oxidation



ตาราง ฉ แสดงส่วนผสมของสารละลายและค่าต่างๆ สำหรับการทำ anodic oxidation (29)

เมื่อใช้สารละลาย $C_2H_6O_2 + 1 \text{ gm } KNO_3 + 5 \text{ cc } H_2O$ ปริมาตร 225 cc โดยกำหนดให้ limiting Current เท่ากับ 7 mA และระยะระหว่างขั้วแอโนด-คาโทดเท่ากับ 2 cm

Limiting Voltage (V)	50	100	150	200	250	300	350
Initial Voltage (V)	25	8	8.5	7.2	8	10	8
Net Forming Voltage (V) *	25	90	140	192	239	286	336
Oxide Growth Time (min.)	5	42	61	78	85	42 ^a	45.5 ^b
Oxide Colour	Tan	Brown	Violet	Royal Blue	Light Blue	Metallic	Yellow
Oxide Thickness (Å)	500	700	1000	1200	1500	1700	2000

*Net Forming Voltage = Limiting Voltage-Initial Voltage

ประวัติผู้เขียน



นางไอฉา จิระนภากุล เกิดเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2496 ณ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี เมื่อปี พ.ศ.2520 หลังจากนั้นได้เข้ารับราชการที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี เป็นเวลา 2 ปี จึงลาศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขณะที่ศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ได้มีโอกาสเสนอผลงานวิจัยในการสัมมนาวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาประเทศ ระหว่างวันที่ 4-6 ธันวาคม 2523 ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลงานที่เสนอต่อที่ประชุม เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้