

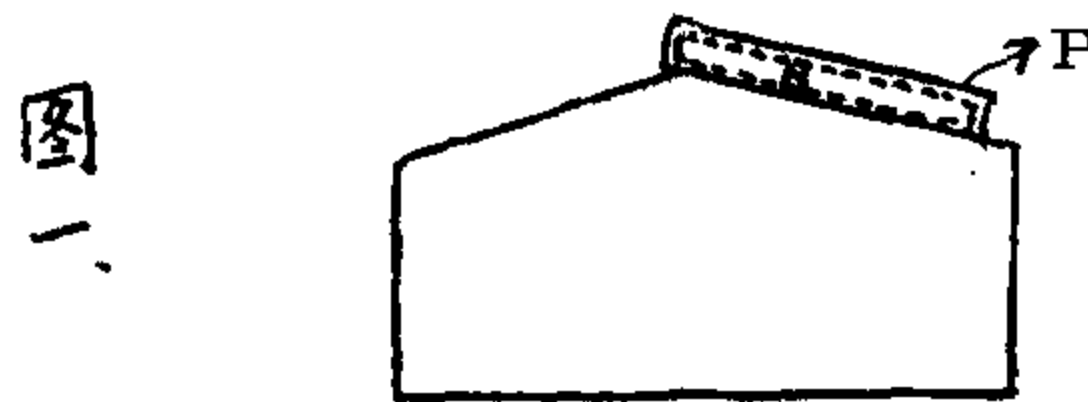
半導體中的擴散實驗

羅正忠75級

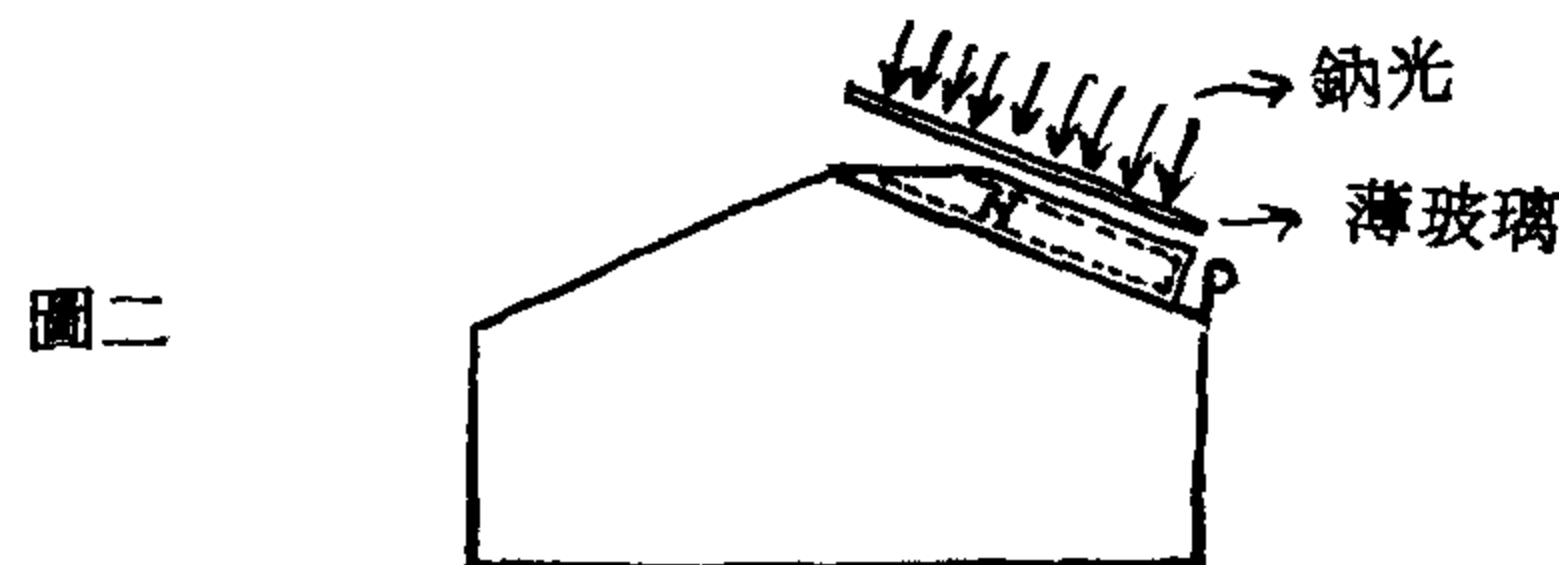
Redistribution of Boron in Silicon with

fast electrons as a result of irradiation

利用大小為 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 的 N-type wafer 作為 substrate, 和微量的 B_2O_3 一同置入石英管中, 抽真空後封死, 置於 "Mini-Brute" MB71 bench model 中的石英套管內, 於 1240°C 的溫度中加熱, 以使 Diffusion process 產生, 通常約 3~5 小時後便可停車, 等到溫度降至常溫後, 取出石英管中的 wafer, 用 HF 清除表面的硼玻璃, 隨即使用 curve tracer 來探測 wafer 的 I-V 曲線, 依 $I = I_0 (e^{qV/2KT} - 1)$ 的關係, 在半數對紙上劃出 $\log I$ 對 V 的圖形, 唯有 $\log I - V$ 為直線者, 才是理想的 P-N junction。



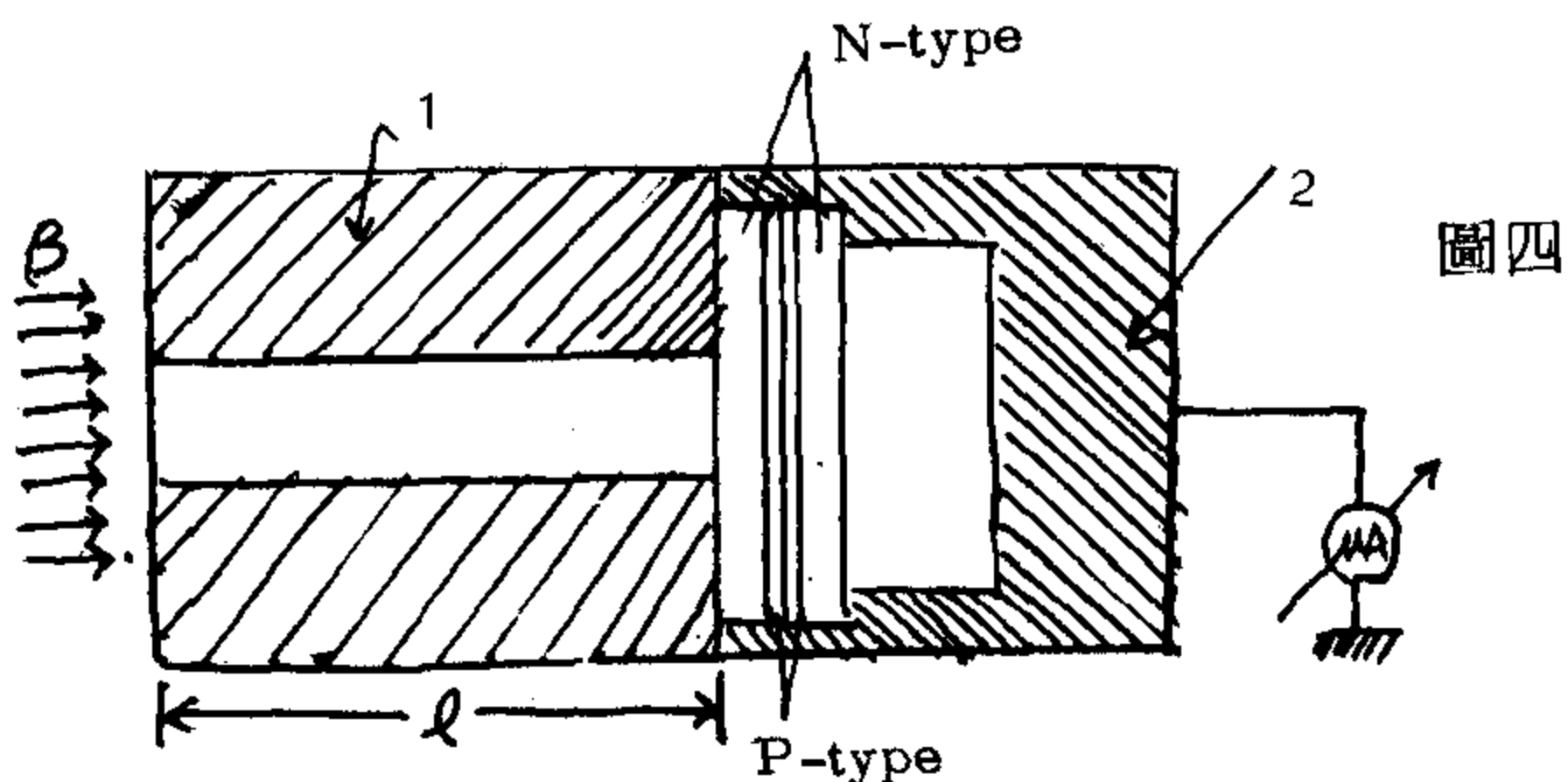
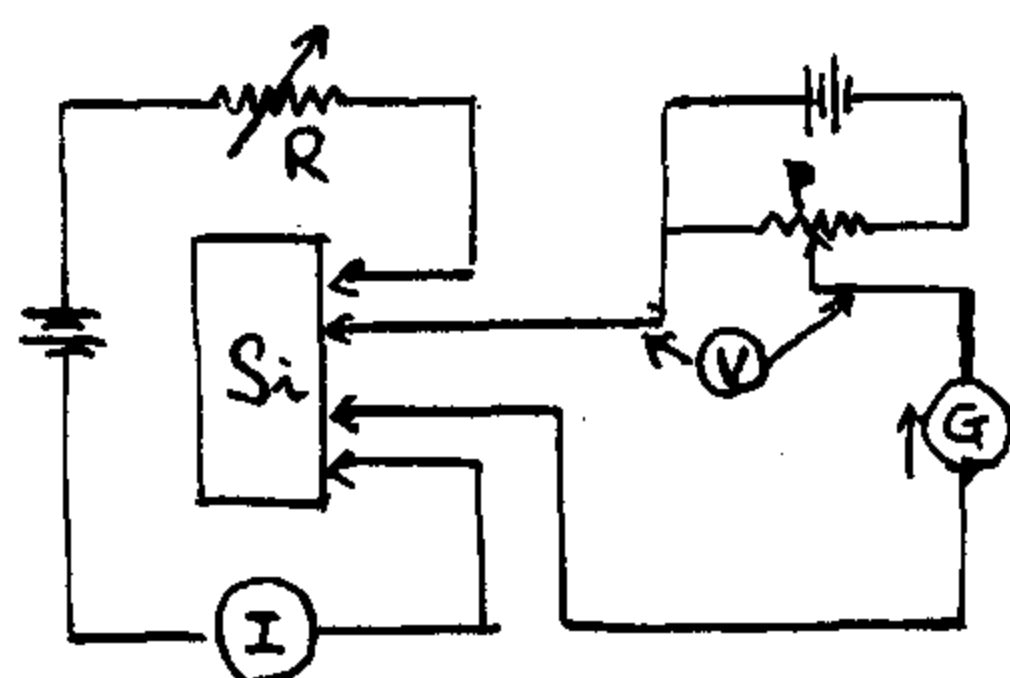
第二步是把 P-N junction 用 wax 固定於具有特定角度的 stain fixture 中, 如圖(1)所示, 小心地套在 holder 中, 使附着 sample 的一面, 對着毛玻璃板作反 8 字形磨擦, 玻璃板上有與水溫合的細鋁粉 (大小為 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{m}$)。數分鐘後, 用水沖去表面的雜物, 便呈現如圖(2)所示的形狀, 塗上 stain solution (150 份的 HF 加上 1 份的 HNO_3)。p-type 部份則生長了一層黑膜, 由顯微鏡可明確的看出 P-N junction 中 P-type (黑色) 及 N-type (不變色) 分布的區域, 利用鈉光燈干涉的原理, 在其上加一塊薄玻璃, 由暗紋的數目, 便可決定 Diffusion depth X, 每一根暗紋代表 0.3μ 的距離。



第三步較為困難, 須到交大去做 Four-point probe measurement, 如圖(3)所示, 以決定 P-type 區域中, 不同深度 x 所對應 acceptor 的濃度 N,

其中
$$N = \frac{7.05 \times 10^{21}}{\mu_0} \left(\frac{I_2}{V_2} - \frac{I_1}{V_1} \right) \quad \mu_0 \text{ 爲 mobility}$$

圖三



劃出 N 與 x 的曲線，再依 Fick's 2nd law 得

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{\sqrt{2Dt}} = N_0 \operatorname{erfc} \mu$$

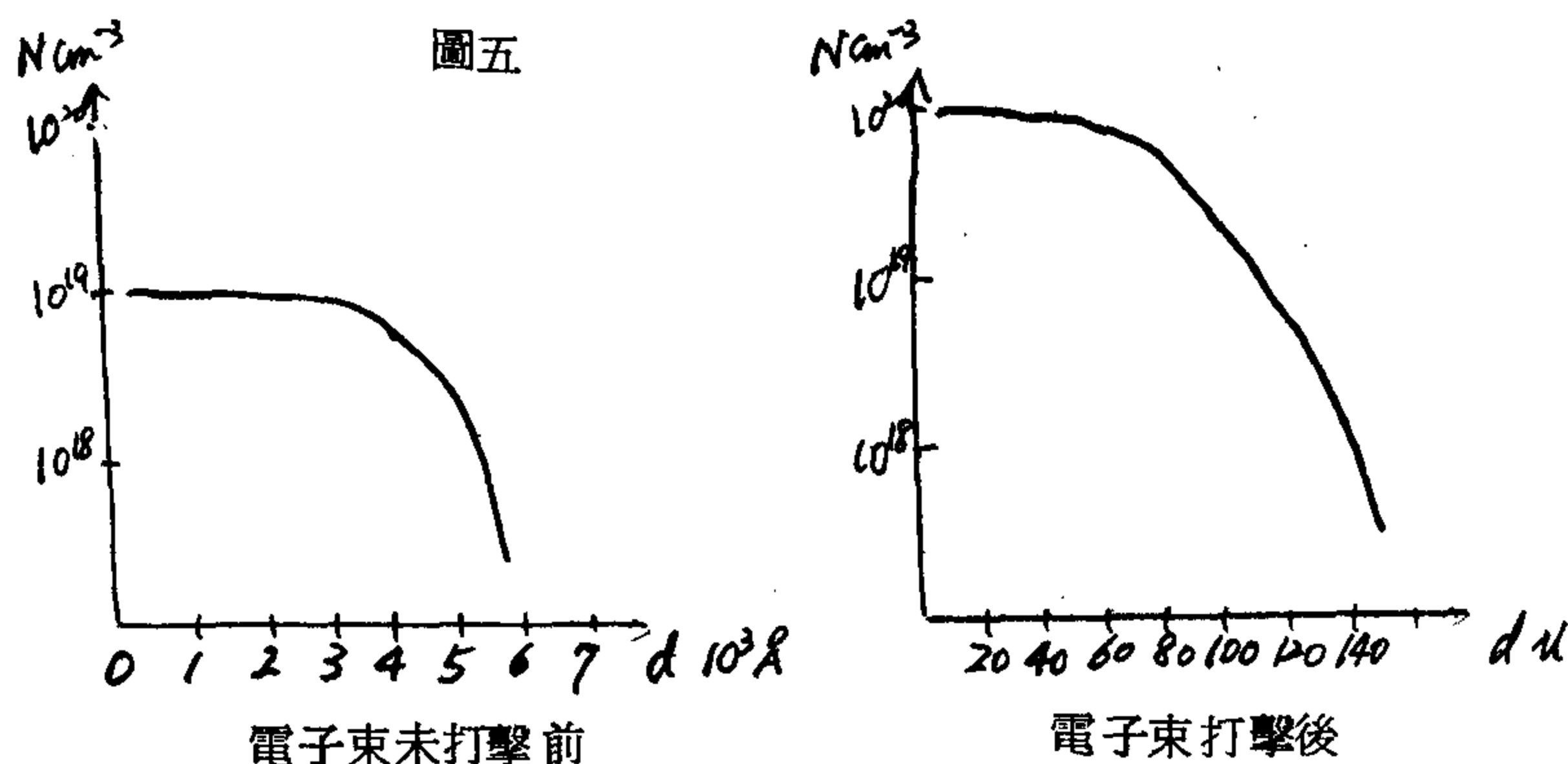
先在 error function 表中找出 $\operatorname{erf} 1$ 的值，則前曲線中 $N = N_0 \operatorname{erfc} 1$ 的橫軸亦可取得，由其與曲線的交

點便可決定唯一對應的 x 值，依 $\frac{x}{\sqrt{2Dt}} = 1$ ，得 $D = \frac{x^2}{4t}$ ，而決定了整個系統的 Diffusion coefficient D

由 C.S. Fuller and J.A. Ditzenberger 的實驗得知

$$D_B = 10.5 \exp(-85000/RT)$$

第四步是把已測好的 sample，二面一組，面對面放好，用能量高於 defect-formation threshold 的高速電子打擊如圖(4)所示，電子流是由汎氏加速器產生的，電流密度為 $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (10^{17} electrons / cm^2)，能量為 3.2 MeV 或 1.8 MeV，實驗發現 P-N 方向與電子流方向相同者，N-x 圖形會產生 shift，與電子流方向相反者，則無變化。依 V.G. Seryapin, L.S. Smirnov 等人的解釋，認為電子轟擊順向排列之 P-N junction 時，產生 Frenkel pairs 使得晶體中產生許多空位晶格及填隙原子 (interstitial atoms)，受到由電子束所產生之晶格振盪風 (lattice vibration wind) 的作用，沿電子流方向遷移 (migrate)，直到硼原子佔到一個更穩定的空位 (vacancy) 才停止，所以 N-x 圖形有 shift 現象產生。如圖(5)所示。



Reference:

1. R.M. Burger and R.P. Donovan
Fundamentals of silicon integrated device technology.
2. C.S. Fuller and J.A. Ditzenberger.
Journal of applied physics vol 27. No.5 (1954)
3. V.G. Seryapin, N.V. Seryapin, L.S. Smirnov,
S.I. Romanov and V.I. Obodnikov.
Soviet physics-Semiconductors vol 7 No.1 (1973)