

1. Classificação <i>INPE-COM. 4/RPE</i> <i>C.D.U.: 539.2</i>	2. Período	4. Distribuição  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)  <i>RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM IMPLANTAÇÕES RASAS</i> <i>IMPLANTAÇÕES RASAS DE P NO SI</i>		
5. Relatório nº <i>INPE-2145-RPE/367</i>	6. Data <i>Junho, 1981</i>	7. Revisado por <i>HCC</i> <i>Huberto Choss</i>
8. Título e Sub-Título  <i>RESISTIVIDADE ELÉTRICA DE IMPLANTAÇÕES</i> <i>RASAS DE P NO SI</i>		9. Autorizado por  <i>Narada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>
10. Setor <i>DTE</i>	Código	11. Nº de cópias <i>12</i>
12. Autoria <i>E. Granato</i> <i>R. Ranvaud</i> <i>A. Ferreira da Silva</i> <i>I.C. da Cunha Lima</i>		14. Nº de páginas <i>09</i>
13. Assinatura Responsável <i>[Assinatura]</i>		15. Preço
16. Sumário/Notas  <i>Usando-se baixas energias para implantação do P no Si do tipo p, produziu-se uma fina camada (de aproximadamente 200 Å) que, devido à barreira criada pela junção, não permite a saída de elétrons na direção perpendicular à superfície. Variando-se a dose da implantação, varia-se a concentração de impurezas nessa camada. No sistema quase-bidimensional assim formado, realizaram-se medidas de resistividade em função de temperatura e da concentração de impurezas. Essas medidas visam evidenciar a mudança de relativa importância de mecanismos de condução elétrica, ligados aos portadores livre e às impurezas.</i>		
17. Observações <i>Trabalho submetido para publicação na Revista Brasileira de Física e submetido para apresentação na 33ª Reunião Anual da SBPC 8 a 15 de julho de 1981, Salvador, Bahia.</i>		

## Resistividade Elétrica em Implantações Rasas de P no Si

E.GRANATO, R.RANVAUD, A.FERREIRA DA SILVA e I.C. DA CUNHA LIMA

Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

12.200 - São José dos Campos, SP

J.P. SOUZA

Laboratório de Microeletrônica, Universidade de São Paulo, SP

A thin layer (nearly 200 Å) was produced using low energy implantation of P in Si which, due to the potential barrier of the junction formed, do not allow electrons to escape in the perpendicular direction of the surface. The impurity concentration of this layer are varied using different implantation doses. Measurements of resistivity, as a function of temperature and concentration in the quasi-twodimensional system so formed, were made trying to give evidences on the change of the relative importance of the electric conduction mechanism, connected to the free carriers and impurities.

Usando-se baixas energias para implantação do P no Si do tipo p, produziu-se uma fina camada (de aproximadamente 200 Å) que, devido à barreira criada pela junção, não permite a saída de elétrons na direção perpendicular à superfície. Variando-se a dose da implantação, varia-se a concentração de impurezas nessa camada. No sistema quase-bidimensional assim formado, realizaram-se medidas de resistividades em função da temperatura e da concentração de impurezas. Essas medidas visam evidenciar a mudança de relativa importância de mecanismos de condução elétrica, ligados aos portadores livres e às impurezas.

Nos últimos anos, a implantação iônica tem se revelado uma técnica muito promissora para dopagem de materiais semicondutores, especialmente Si. Entre outros motivos isto se deve à possibilidade de controle preciso do nível de dopagem, já que o fluxo de íons pode ser medido com precisão, e ao controle da profundidade do perfil de impurezas, através da escolha adequada da energia do feixe incidente.

Com energias bem baixas, pode-se introduzir impurezas bem próximas à superfície. Assim, como 12 KeV obtêm-se uma camada de espessuras de, aproximadamente, 200 Å de Si dopado com P. Usando-se como substrato Si do tipo p, obtêm-se um dispositivo que permite medidas de resistividade elétrica na camada implantada, sem a contribuição do substrato.

Nas Figuras 1(a) e 1(b), tem-se um diagrama esquemático dos perfis de impurezas e da estrutura de bandas em tal situação.

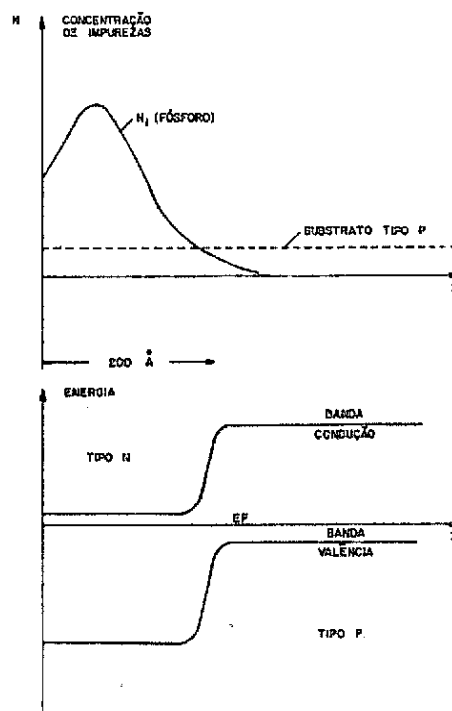


Fig. 1 - (a) Perfil de impurezas  
(b) Estrutura de bandas

Os elétrons da camada ficam confinados junto à superfície, devido ao campo elétrico da junção pn formada, podendo-se mover livremente somente no plano paralelo à superfície. Em um confinamento dessa ordem, o sistema é possivelmente quasi-bidimensional.

Quando em um semiconductor dopado a concentração de impurezas é aumentada, uma situação é atingida, na qual o "overlap" das funções de onda é suficiente para permitir que a condução elétrica em baixa temperatura, que para menor concentração se fazia por "hopping", agora se faça como em um metal.

Muito esforço vem sendo dispendido no sentido de explicar essa transição metal não-metal e as propriedades relacionadas de elétrons nesses sistemas; até o momento, dois grandes esquemas teóricos foram desenvolvidos. O primeiro é o esquema de Mott-Hubbard-Anderson<sup>1,2</sup> e o segundo, a teoria da percolação para regiões de condução não-homogêneas<sup>3,4</sup>.

Para o silício dopado com fósforo, em três dimensões a concentração crítica em que ocorre a transição metal não-metal é ao redor de  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ <sup>5,6</sup>. Mas para o mesmo sistema em duas dimensões não há acordo geral sobre em que concentração ocorre, ou mesmo se ocorre<sup>7,8</sup>.

Por esse motivo, medidas de resistividades em dispositivo como o descrito acima, podem ser de grande interesse.

O propósito deste trabalho é apresentar alguns resultados preliminares de medidas de resistividade elétrica em implantações rasas

de P no Si, em função da temperatura, e para várias doses de implantação.

Construiu-se o dispositivo de forma a permitir o uso do método de van de Pauw, de medida de resistividade e efeito Hall<sup>9</sup>. O desenho da pastilha com contatos e a amostra nessa disposição, encontram-se na Figura 2, e a Figura 3 apresenta a estrutura final (corte). Quatro regiões n<sup>+</sup> para contatos (2) de resistividade 16  $\Omega/\square$  e profundidade aproximada de 1,5  $\mu$  foram produzidas por difusão de P em pastilhas de Si do tipo p, de resistividades 25 - 30  $\Omega$  cm, orientadas na direção (100). Contatos ôhmicos são produzidos nas regiões (3). Na região circular central, constituindo a amostra propriamente dita, implantou-se P<sub>2</sub><sup>+</sup> com 24 KeV de energia. Na região restante implantou-se <sup>11</sup>B<sup>+</sup> com 65 KeV e dose  $2 \times 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>, para eliminar correntes de fuga superficiais. Duas regiões circulares menores (5) e (4) constituem diodos testemunhas para teste da implantação a ser estudada e dos contatos, respectivamente. O recozimento da implantação foi executado a 750<sup>0</sup>C, durante 30 min em atmosfera de N<sub>2</sub>.

Mediu-se a resistividade elétrica de seis amostras com concentrações diferentes entre 30 K e 300 K. Os resultados encontram-se na Figura 4, na forma usual de

$$\ln \rho \times \frac{1000}{T(K)} .$$

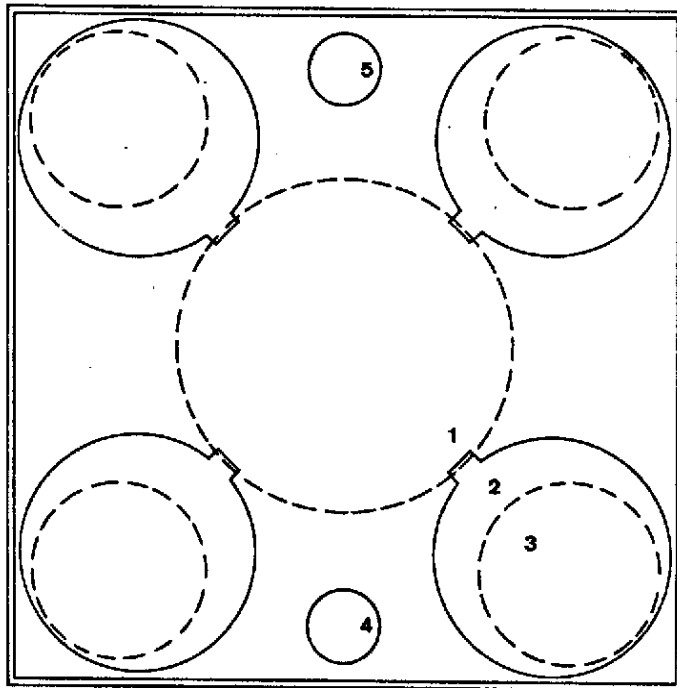


Fig. 2 - Dispositivo com estrutura van der Pauw

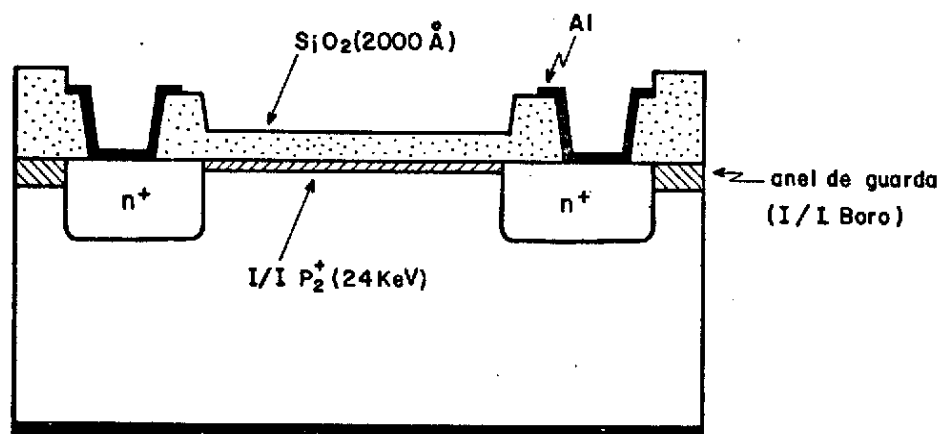


Fig. 3 - Dispositivo para medidas de resistividade elétrica (corte).

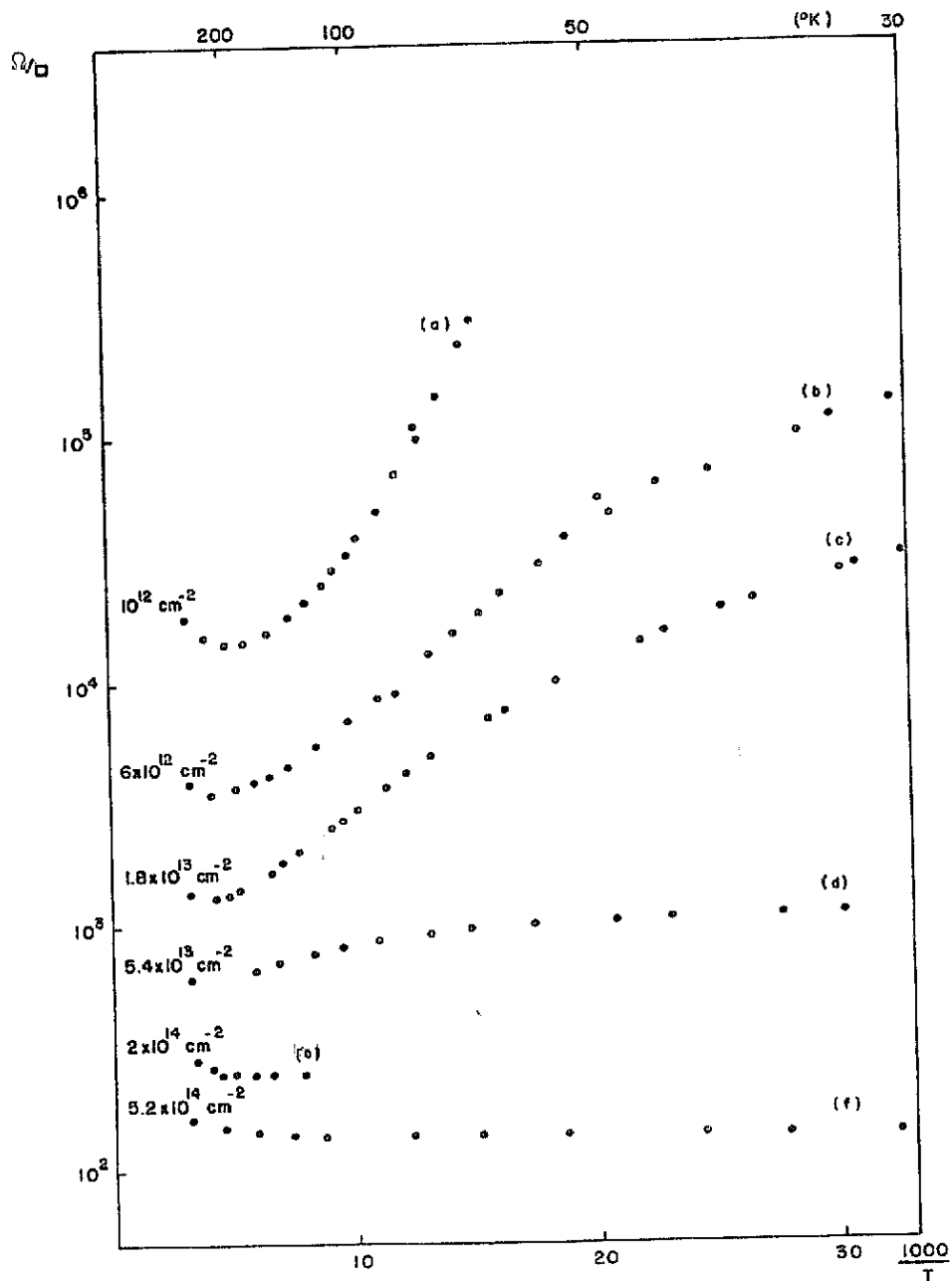


Fig. 4 - Resistividade em função da temperatura.

Obtiveram-se as concentrações de impurezas em cada amostra por medida de efeito Hall na temperatura ambiente, que se encontram indicadas na Figura 4, exceto para a de menor concentração, na qual o valor indicado  $\bar{e}$  a dose.

As doses de implantação usadas foram, respectivamente: a)  $10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$ ; b)  $10^{13}$   $\text{cm}^{-2}$ ; c)  $10^{14}$   $\text{cm}^{-2}$ ; d)  $5 \times 10^{14}$   $\text{cm}^{-2}$ ; e)  $10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$ ; e f)  $10^{16}$   $\text{cm}^{-2}$ . Portanto, nem todas as impurezas são eletricamente ativas. Isso possivelmente indica que o recozimento usado não foi adequado.

Para baixas concentrações, observa-se que a resistividade aumenta com o inverso da temperatura de forma logarítmica em algumas regiões, apresentando energia de ativação. No entanto, para concentrações maiores a resistividade praticamente independe da temperatura. A transição entre os dois regimes parece ocorrer em torno de  $2 \times 10^{13}$   $\text{cm}^{-2}$ . Contudo, a determinação precisa desse valor exige a utilização de temperaturas mais baixas

Para as amostras (b) e (c), a mudança de inclinação na curva de resistividade, para temperaturas abaixo de 40 K, parece indicar que a condução elétrica se faz através da banda de impureza.

A comparação desses resultados com outros em três dimensões, e a determinação quantitativa das propriedades dessa transição se torna difícil devido a não-ativação total das impurezas e a uma ausência, até o presente momento, de informação acerca do perfil real de sua distribuição.



## BIBLIOGRAFIA

1. N.F. Mott, Metal-Insulator Transitions (Taylor & Francis Ltd., London, 1974).
2. P.W. Anderson, Phys. Rev. *109* (1958), 1492.
3. M.H. Cohen and J. Jortner, Phys. Rev. Letters, *30* (1973), 699.
4. N. Mikoshiba, Rev. Mod. Phys. *40* (1968), 833.
5. T.G. Castner, N.K. Lee, G.S. Ciloszyk and G.L. Dalinger, Phys. Rev. Letters, *34*, 1627 (1975)
6. N. Kobayashi, S. Ikehata, S. Kobayashi and W. Sasaki, Solid. St. Comun. *24*, 67 (1977).
7. N. Mott, M. Pepper, S. Pollit, R.H. Wallis and C.J. Adkins, Proc. Royal Soc. London *A345*, 169 (1975).
8. E. Abrahams, R.W. Anderson, D.C. Licciardello and T.. Ramaa Krishnan, Phys. Rev. Lett. *42*, 673 (1979).
9. L.J. van der Pauw, Philips Res. Repts, *13*, 1, (1958).