



F 609 – Tópicos de Ensino de Física 1

Junho de 2008

Relatório Final

Medida de resistividade em materiais semicondutores

Aluno: Marcio Antoniassi E-mail: marcioantoniassi@gmail.com
Orientador: Prof. Dr. Yoshikazo Ernesto Nagai E-mail: yenagai@itelefonica.com.br
Coordenador: Prof. Dr. José Joaquín Lunazzi E-mail: lunazzi@ifi.unicamp.br



Sumário

Resumo.....	12.3
Fundamentos Teóricos.....	12.3
Parte experimental.....	12.5
Resultados.....	12.8
Importância Didática do Trabalho.....	12.10
Comentários do Orientador.....	12.10
Referências.....	12.10
Anexos.....	12.11

Resumo

Na realização do projeto buscou-se construir um dispositivo de baixo custo para medida de resistividade dos materiais semicondutores, bem como projetar e construir uma fonte de corrente que permitisse a alimentação do semicondutor com corrente contínua.

Dentre as alternativas que diminuem o preço da fabricação do dispositivo, observamos a formação dos contatos ôhmicos com tinta condutora e solda de índio, ao invés de processos mais caros e trabalhosos, tais como fotolitografia, caldeiras a altas temperaturas e processos de evaporação.

Fundamentos teórico

Resistividade de van der Pauw

O processo de medição de resistividade conhecido como método de 4 pontas se caracteriza por medir a corrente que passa em duas pontas num determinado momento (ex. No sentido de 3 para 1) e a ddp nas outras duas (ex. Entre 4 e 2). A utilização das pontas em questão pode ser alterada para verificarmos a diferença que ocorre no sentido de passagem da corrente, conforme observamos na figura abaixo, conforme detalhada em [2].

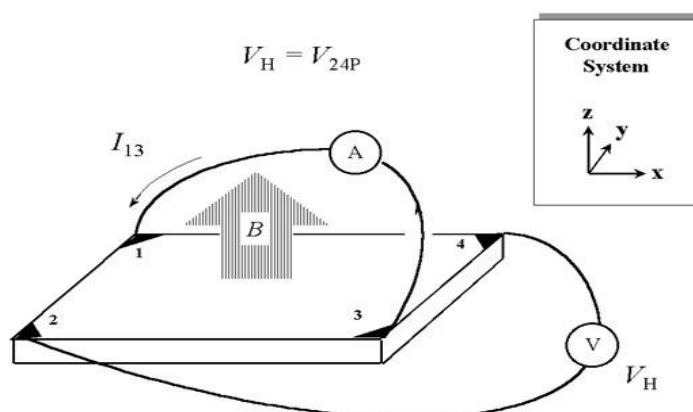


Fig. 6 – Detalhes da técnica das 4 pontas

Através dessas pontas serão medidos corrente e ddp, obtendo-se o valor da resistência e por consequência calculando o valor da resistividade do material, de acordo com sua geometria.

O objetivo das medições de resistividade é a determinação da resistência R_s . Van der Pauw demonstrou que duas resistências características R_a e R_b , conforme mostradas na figura 7, em associação com os terminais correspondentes, são utilizadas na equação 1, que pode ser resolvida numericamente. Para tanto, preferimos utilizar o método das iterações, conforme sugerido por [2].

$$\exp(-\pi R_A/R_S) + \exp(-\pi R_B/R_S) = 1 \quad (1)$$

Dessa maneira, depois de encontrado o valor de R_s , podemos obter a resistividade multiplicando pela espessura do material d , conforme mostrado na equação 2.

$$\rho = R_S d. \quad (2)$$

Para obter as duas resistências características, aplica-se uma corrente contínua I entrando pelo contato 1 e saindo no contato 2 e mede-se a ddp que atravessa do contato 4 para 3, conforme mostrado na figura 5. Depois, aplica-se uma corrente I indo do contato 2 para 3 e mede-se a ddp através dos contatos 1 e 4. R_A e R_B são calculadas por meio das seguintes expressões:

$$R_A = V_{43}/I_{12}$$

$$R_B = V_{14}/I_{23}$$

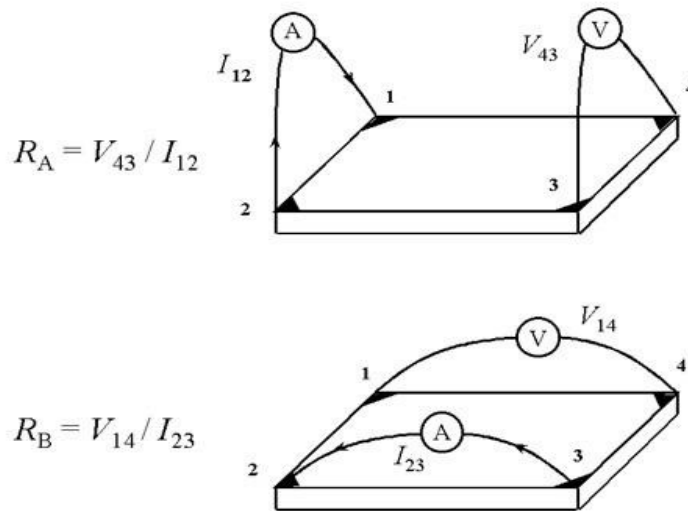


Fig. 7 – Resistências R_A e R_B , de acordo com os sentidos nos contatos

O cálculo da resistência R_S foi realizado conforme detalhado por [2], mediante figura 8.

Set the error limit $\delta = 0.0005$, corresponding to 0.05 %

Calculate the initial value of z_1 , or $z_0 = 2 \ln(2) / [\pi(R_A + R_B)]$

Calculate the i^{th} iteration of $y_i = 1/\exp(\pi z_{i-1}R_A) + 1/\exp(\pi z_{i-1}R_B)$

Calculate the i^{th} iteration of z_i where

$$z_i = z_{i-1} - [(1-y_i)/\pi] / [R_A/\exp(\pi z_{i-1}R_A) + R_B/\exp(\pi z_{i-1}R_B)]$$

When $(z_i - z_{i-1})/z_i$ is less than δ , stop and calculate the sheet resistance $R_S = 1/z_i$

The resistivity ρ is given by $\rho = R_S d$, where d is the thickness of the conducting layer

Fig. 8 Detalhe do método de iteração para determinação da resistência R_S

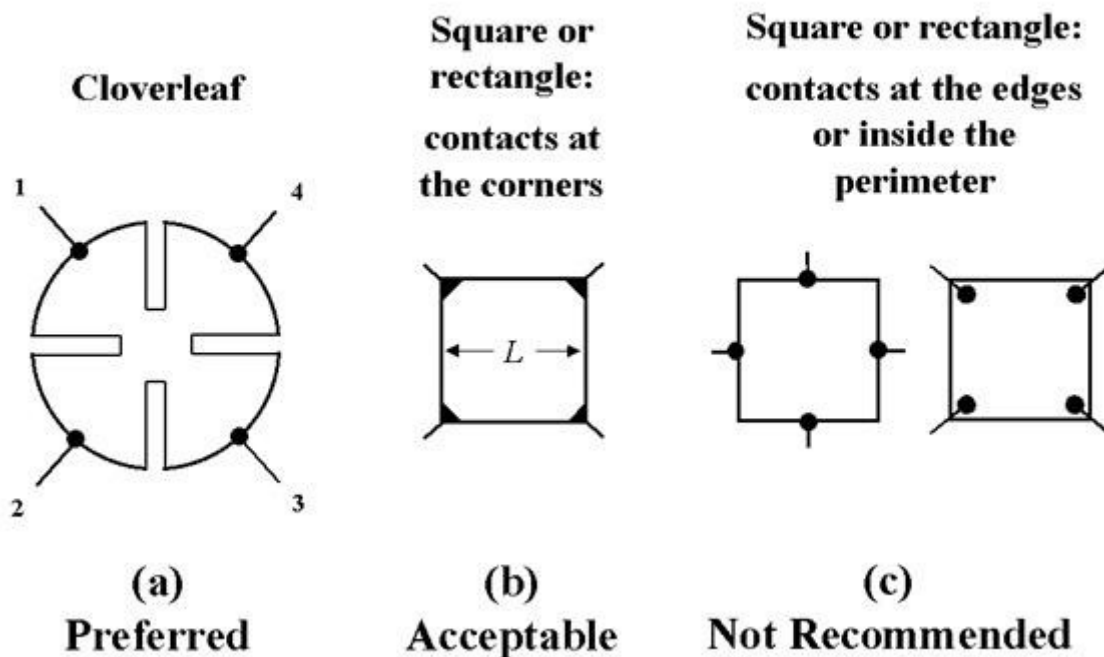


Fig. 9 – Sugestões para o formato da amostra a ser medida a resistência bem como modelos rejeitados.

Parte Experimental

Dispositivo Contendo a placa de material Semicondutor

Na preparação do dispositivo, inicialmente foi realizado os contatos ôhmicos na placa de silício. Para tanto, foi utilizado o método de solda de índio, sugerido por Gregory Triplett, do Georgia Institute of Technology [1], devido a baixa temperatura de fusão ($156,7^{\circ}\text{C}$). Colocou-se uma pequena quantidade de material de índio nas extremidades da placa de formato quadrangular, e todo o conjunto foi aquecido.

Num primeiro momento, observou-se que a solda de índio, após estar fundida, assumia um formato esférico, prejudicando a formação dos contatos e tornando-se muito fácil de ser rompida.

Uma alternativa para isso foi utilizar uma tinta condutora com propriedades aglutinantes que permitiu que a solda de índio assumisse o contato, permitindo unir um fio direto a placa de silício.

Verificamos que o formato da amostra utilizada não era o que mais favorecia o experimento, mas devido a complexidade da forma, optamos por testar dessa maneira, utilizando

uma placa de silício já disponível.

Depois de formado os contatos ôhmicos, a placa de silício foi fixada na base anteriormente preparada, unindo os fios a contatos elétricos por meio de solda de estanho, por onde passamos corrente por dois pontos e determinamos a ddp nos pontos opostos.

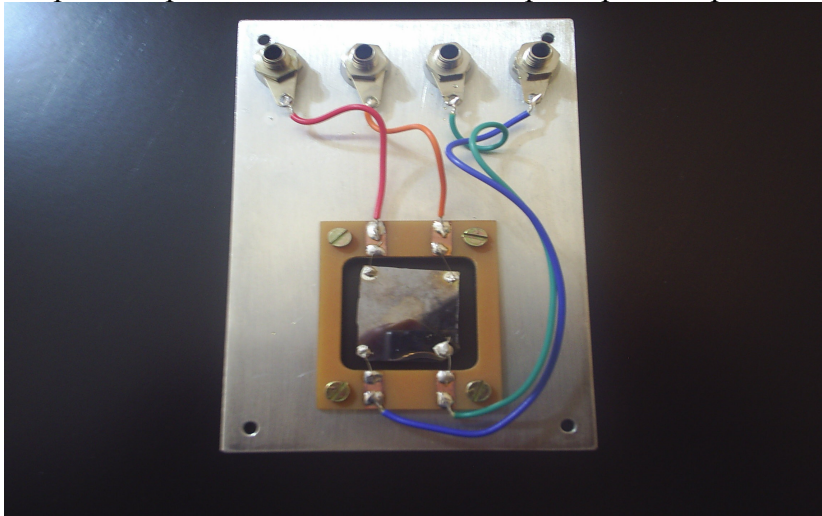


Fig. 1 – Detalhe dos contatos ôhmicos na placa de silício

Fonte de Corrente

A construção da fonte de corrente foi realizada conforme o circuito esquematizado na figura abaixo.

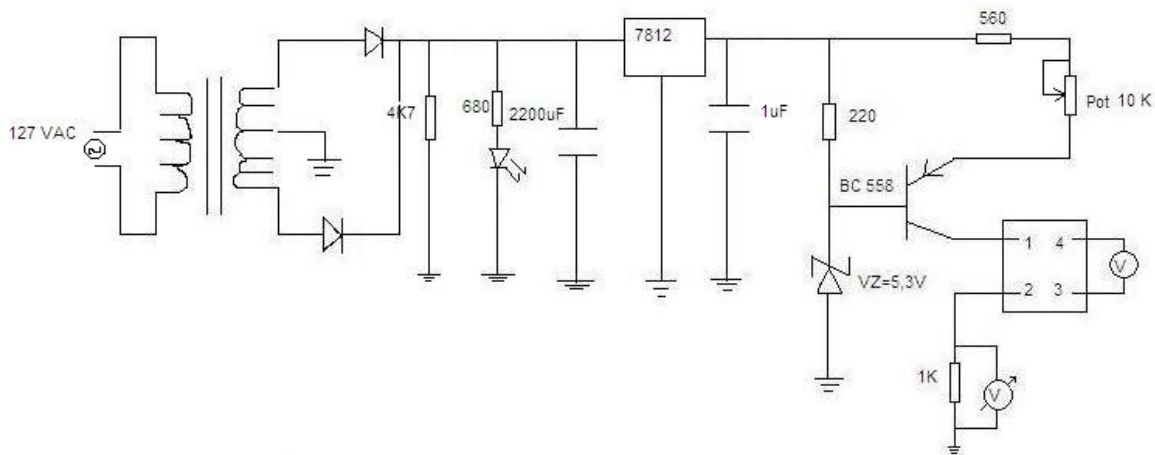


Fig. 2 – Esquema elétrico da fonte de corrente

Na construção da fonte de corrente, utilizamos um transformador de 12V 500mA, diodos retificadores, alguns resistores, capacitores, um regulador de tensão 7812, um capacitor poliéster de 1,0J 100V, diodo Zener de 5,3V, transistor BC 558 e um potenciometro de 10 K.

Pelo esquema observamos que a corrente que passa pelos contatos pode ser medida antes, com a utilização de um multímetro, nos pontos ao redor do resistor de 1 k Ω . Dessa forma, o valor da corrente será $I_s = V / 1 \text{ k}$, onde o valor da corrente será em mA.

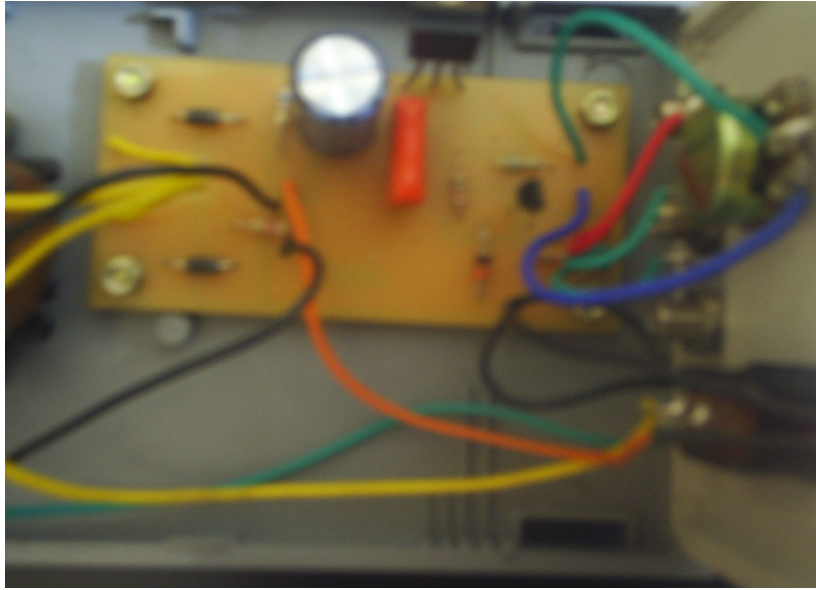


Fig.3 – Foto da montagem da fonte de corrente

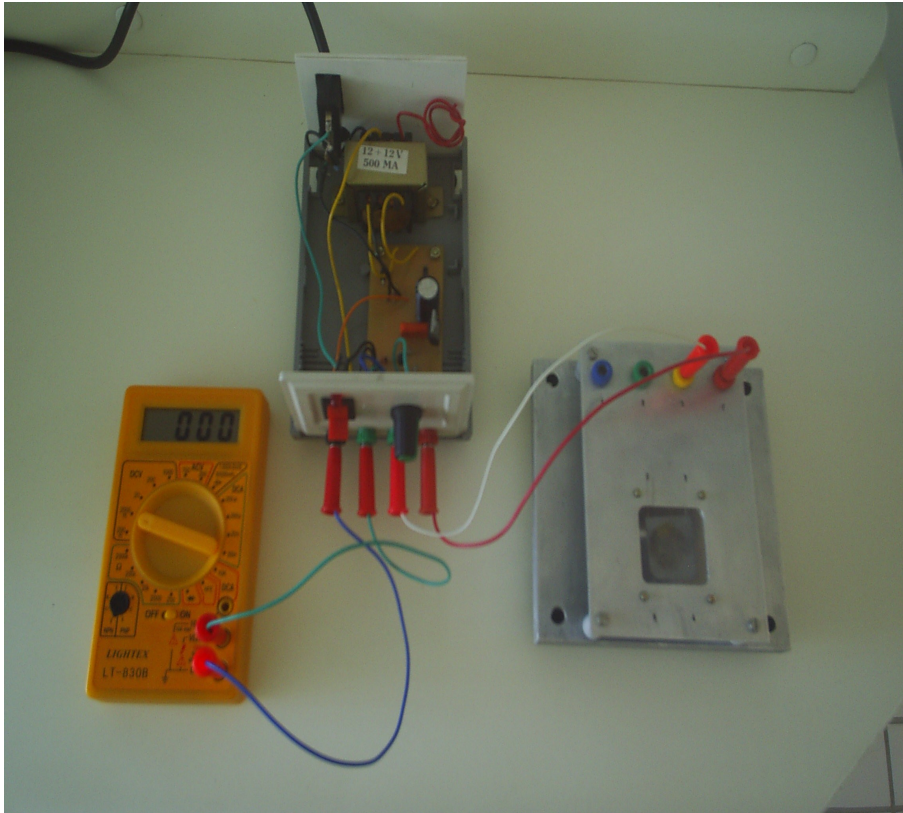


Fig. 4 - Montagem para determinação de corrente

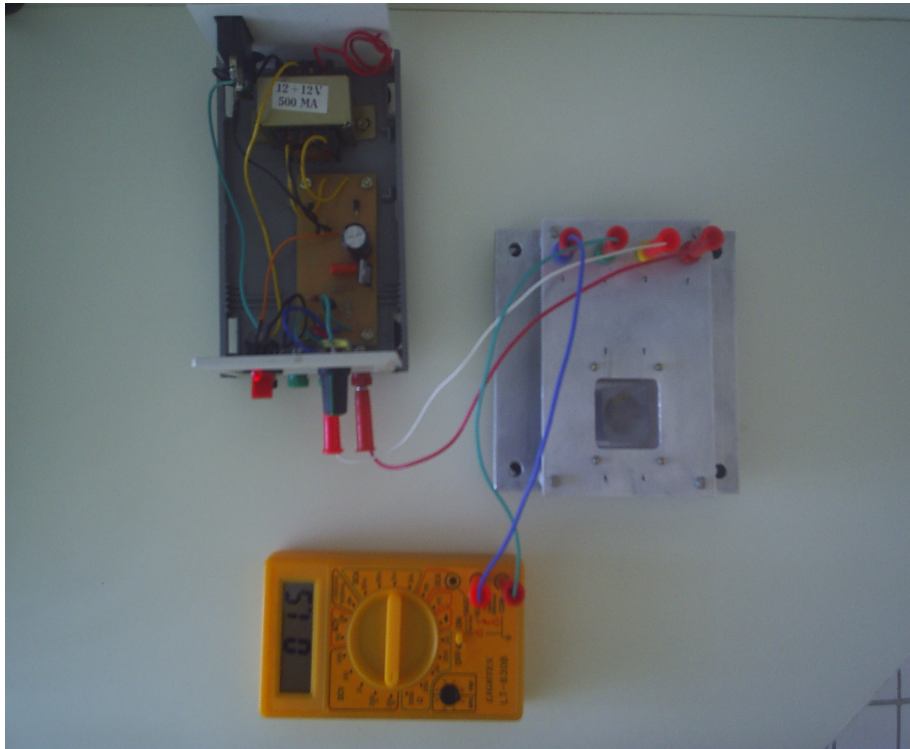


Fig. 5- Montagem para determinação da ddp que atravessa os contatos

Resultados

No processo de fusão do índio, para soldagem na amostra de silício observamos algumas dificuldades, pois o índio, ao ser fundido, assumia a forma esférica, dificultando a formação do contato ôhmico na amostra. Para tanto, foi necessário a utilização de uma tinta condutora na amostra, o que favoreceu a fixação.

A amostra de silício foi disponibilizada pelo prof. Nagai, sendo o formato quadrado, porém com um dos cantos partidos, o que pode interferir nos resultados obtidos.

A fixação dos contatos ôhmicos, através de solda de índio, não foi realizada como sugerido por [2], devido a dificuldade na realização da fusão utilizando-se as extremidades da peça, mas obtivemos resultados bastante expressivos da maneira como a amostra foi utilizada.

Com a utilização da fonte de corrente, percebemos a estabilidade dos dados obtidos, sendo as medidas de ddp obtidas com diferentes valores de corrente e mesmo assim, apresentando os valores para resistividade com aproximação excelente.

Exemplificamos na tabela 1, os valores de corrente e ddp utilizados para se obter os valores de resistência, segundo a técnica de van der Pauw, que utiliza o método das 4 pontas para realizar as medidas de resistividade elétrica do material.

Para o cálculo da resistividade, seguimos a sugestão de [2], calculando a resistividade através de iterações, a partir da espessura da amostra que era de 0,02 cm e dos valores de resistência obtidos através das medidas, haja visto ser uma maneira bem prática de calcular os valores para R_s .

Tabela 1. Dados obtidos para a resistividade segundo van der Pauw

	Corrente (mA)	DDP (mV)	Resistência (Ω)
I 21 – V 34	1,25	3,0	2,40
I 12 – V 43	1,25	2,9	2,32
I 43 – V 12	1,25	2,5	2,00
I 34 – V 21	1,25	2,9	2,32
I 32 – V 41	1,25	5,3	4,24
I 23 – V 14	1,25	5,1	4,08
I14 – V 23	1,25	5,5	4,40
I 41 – V 32	1,25	5,6	4,48

A tabela 2 mostra os dados coletados para a ddp, após conectar os contatos para passagem de corrente, bem como o valor calculado para a resistência, naquele formato de utilização dos contatos. Ainda, detalha os valores de resistência Ra e Rb, utilizados na determinação da resistividade ρ do material. Os valores explicitados como Z0, Z(1-9) e Y (1-9), referem-se aos cálculos da iteração conforme sugeridos por [2].

Tabela 2 . Dados coletados e calculados para obtenção da resistividade de van der Pauw

Contatos	34	43	41	14	12	21	23	32
Ddp (mV)	3	2,9	5,3	5,1	2,5	2,9	5,5	5,6
Contatos	21	12	32	23	43	34	14	41
I (mA)	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
R (Ω)	2,4000	2,3200	4,2400	4,0800	2,0000	2,3200	4,4000	4,4800
Ra	2,2600							
Rb	4,3000							
Z0	0,0673							
Z1	0,0696	Y1	1,0233	$(z1-z0)*z1$	0,000165			
Z2	0,0681	Y2	0,9849		-0,000106			
Z3	0,0681	Y3	1,0001		0,000001		Rs=1/Z3	14,6862
Z4	0,0681	Y4	1,0000		0,000000			
Z5	0,0681	Y5	1,0000		0,000000		P=Rs*d(ohm*cm)	0,2937249258
Z6	0,0681	Y6	1,0000		0,000000			
Z7	0,0681	Y7	1,0000		0,000000			
Z8	0,0681	Y8	1,0000		0,000000			
Z9	0,0681	Y9	1,0000		0,000000			

Com base nos resultados obtidos, calculados para a resistividade ρ da amostra, sendo um valor de $0,293 \Omega \text{ cm}$, lançamos esses valores numa planilha de cálculo disponível na internet, conforme [3] e obtivemos os valores para a concentração de portadores de carga, sendo um valor de $5,99 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ para o tipo-p e $1,92 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ para o tipo-n.

Importância didática do trabalho

Este trabalho permite mostrar uma alternativa simples e de baixo custo, para a medição de resistividade de materiais, auxiliando na determinação da concentração de portadores de carga e melhor compreensão dos elementos semicondutores, entendendo a física envolvida.

Atualmente, esses dispositivos são desenvolvidos por grandes empresas, que utilizam-se de técnicas de fotolitografia, evaporação e caldeiras tubulares a altas temperaturas, para a formação do contato ôhmico, que permite medição de corrente e ddp.

O projeto em questão, envolvendo a construção do dispositivo permite o aluno aprender mais sobre a geometria, métodos de medição e funcionamento de dispositivos semicondutores.

COMENTÁRIOS DO ORIENTADOR:

O projeto em questão poderá ser aproveitado para o estudo do Efeito Hall, continuando os estudos na área de semicondutores, com o acréscimo de um dispositivo que permita a aplicação de um campo magnético.

Referências:

1. Jed Brody, Zhiyong Dong, Tristan Dennen. *Am.J.Phys.* **74**(3), março 2006, p.240 Apresenta a metodologia e o processo para construção do dispositivo.
2. Informações sobre técnicas de medição e cálculo da resistividade em <http://www.eeel.nist.gov/812/hall.html>
3. Cálculo da concentração de portadores de carga em <http://www.solecon.com/sra/rho2ccal.htm>

<http://www.solecon.com/sra/rho2ccal.htm>

Este site apresenta uma calculadora para determinação da concentração de portadores de carga, mediante a resistividade ou a determinação da resistividade mediante a concentração de portadores.

