

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EEL7051 – Materiais Elétricos - Laboratório

EXPERIÊNCIA 04
RESISTORES E PROPRIEDADES DOS SEMICONDUTORES

1 INTRODUÇÃO

Este roteiro destina-se a ser o primeiro de uma série de experimentos a serem realizados com um conjunto de circuitos integrados desenvolvidos por um consórcio entre três empresas (Motorola, Compugraphics International e Scottish Enterprise) e a Universidade de Edimburgo, Escócia. Os dispositivos foram feitos utilizando o processo CMOS da Motorola, o qual também é usado para produzir uma ampla gama de dispositivos comerciais, incluindo blocos lógicos, muito empregados em eletrônica. São ao todo quatro chips, cada um contendo dispositivos e aplicações didáticas distintas. O primeiro contém um conjunto de resistores, o segundo possui transistores MOS, o terceiro é composto de diodos de junção p-n e fotodiodos, e o quarto, de um circuito oscilador em anel.

Com a finalidade de reposição de componentes e diminuição de custos, foi projetado um circuito integrado de 40 pinos, no Laboratório de Circuitos Integrados (LCI) do Departamento de Engenharia Elétrica, que possui internamente resistores e transistores MOS do tipo P e do tipo N.

Desta forma, algumas experiências serão desenvolvidas com o novo circuito integrado, projetado na UFSC e fabricado nos EUA, e outras com os circuitos integrados originais vindos da Universidade de Edimburgo na Escócia.

O primeiro ensaio tem como finalidade principal apresentar conceitos básicos acerca das características dos resistores através de medidas de valores de resistência, relacionando estes com as propriedades do elemento e com o tipo de conexão implementada. A introdução do termo resistência de folha, freqüentemente utilizado na literatura relativa a materiais semicondutores, também é assunto deste ensaio. Como segundo objetivo, deseja-se apresentar propriedades básicas de condução de metais e semicondutores (silício dopado).

2 RESISTÊNCIA DE FOLHA

O conceito de resistência, que considera as dimensões do elemento pode ser traduzido matematicamente pela seguinte expressão.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{\rho \cdot l}{t \cdot w}$$

Onde:

- R = resistência;
- ρ = resistividade do material;
- l = comprimento;
- S = área do material;
- t = espessura;

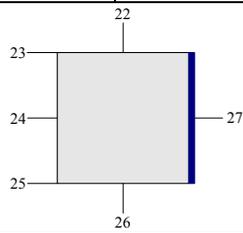
- $w = \text{largura}$.

A noção de resistência de folha surge neste contexto devido ao fato de semicondutores e filmes metálicos geralmente serem depositados com espessura uniforme, de maneira que apenas a razão de aspecto da superfície é alterada quando se deseja variar os valores de resistência. Assim, t é constante para um grupo específico de componentes, e a constante ρ/t é chamada de resistência de folha.

3 DESCRIÇÃO DO CIRCUITO INTEGRADO

O chip foi produzido com a tecnologia AMIC5 0,5 μm SCN3ME, contém 7 resistores feitos com diferentes dimensões e matérias, para que o aluno possa comparar suas diferentes propriedades, bem como fazer testes com associações serie e paralelo. O chip também conta com 4 transistores CMOS do tipo N e 4 transistores CMOS do tipo P, estes que tem por objetivo dar ao estudante um conhecimento básico sobre o funcionamento dos transistores e mostrar como eles podem ser combinados para dar origem a circuitos lógicos.

A tabela a seguir resume as características e pinagens dos resistores deste CI.

Nome	Tipo	Pinos		Largura (W)	Comprimento (L)	Valor (Ω)
R ₁	Polysilicon	31	30	33	1584	1 k
R ₂	Polysilicon	32	35	33	1584	1 k
R ₃	NWELL	30	35	33	239	4,7 k
R ₄	Polysilicon	36	37	64	1542	500
R ₅	Polysilicon	22	27			300
		23	27			300
		24	27			300
		25	27			300
		26	27			300
R ₆	NWELL	28	29	40	520	10 k
R ₇	Polysilicon	38	39	33	741	500

Os terminais 33 e 34 são para proteção dos componentes internos do CI e devem, sempre, serem conectados como segue:

- 33 = GND (massa/terra do circuito);
- 34 = V_{dd} (positivo da fonte do circuito).

Além disso, este circuito integrado foi projetado para uma alimentação de no máximo 5 volts.

A pinagem e a descrição de cada terminal são apresentadas na tabela a seguir.

Os componentes usados nesta experiência estão em destaque na tabela.

O resistor R₅ possui vários terminais, constituindo um resistor distribuído e que será utilizado para comprovar um efeito interessante da corrente elétrica, denominado de efeito Hall. Este efeito é muito utilizado em sensores de efeito Hall usados para medir correntes elétricas, conforme é mostrado na figura 1.

Na figura 2 mostra-se o layout interno do circuito integrado, onde se pode notar a diferença de área entre alguns componentes, especialmente do transistor P₄ e do resistor R₅.

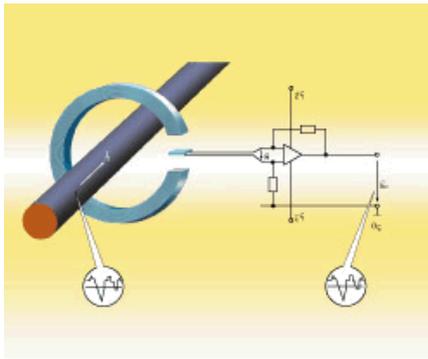


Figura 1 - Princípio de funcionamento dos sensores de efeito Hall.

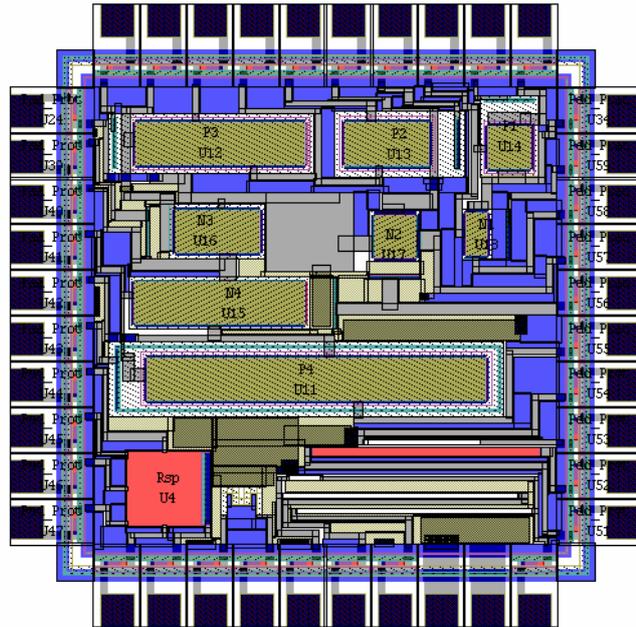


Figura 2 - Layout interno do circuito integrado.

Pinagem e descrição dos terminais do CI.

Pinos	Descrição
1	Bulk N_2 e N_4
2	Source\drain N_2
3	Source\drain N_1
4	Bulk N_1
5	Source\drain N_1 e P_1
6	Source\drain P_1
7	Bulk P_1
8	Gate P_1 e N_1
9	Bulk P_2
10	Gate P_2 e N_2
11	Source\drain P_2
12	Source\drain P_2 e P_3
13	Source\drain P_3
14	Gate P_3 e N_3
15	Bulk P_3
16	Source\drain N_3 e N_2
17	Bulk N_3
18	Source\drain N_3 e N_4
19	Gate N_4 e P_4
20	Source\drain N_4 e P_4

Pinos	Descrição
21	Bulk P_4
22	Centro superior R_{sp}
23	Canto superior R_{sp}
24	Centro Lateral esquerda R_{sp}
25	Canto inferior esquerdo R_{sp}
26	Centro inferior R_{sp}
27	Contato direito R_{sp}
28	R_6 resistor serpentina (resistor de poço) 10 K Ω
29	R_6 resistor serpentina (resistor de poço) 10 K Ω
30	R_3 e R_1 (R_3 resistor de poço 4,7 K Ω)
31	R_1 (resistor de poly) 1 K Ω
32	R_2 (resistor de poly) 1 K Ω
33	Ground
34	V_{dd}
35	R_3 e R_2
36	R_4 (resistor de poly) 500 Ω
37	R_4 (resistor de poly) 500 Ω
38	R_8 (resistor de poly) 500 Ω
39	R_8 (resistor de poly) 500 Ω
40	Source\drain P_4

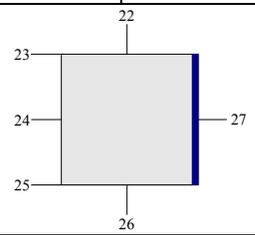
4 PARTE PRÁTICA

A parte experimental consiste em medir a resistência dos resistores do circuito integrado e comprovar o efeito hall.

Inicialmente é interessante observar o interior de algum circuito integrado com o microscópio, tentando identificar as conexões internas e os diversos elementos.

4.1 Medida das resistências

Medir as resistências dos resistores do circuito integrado e anotar os valores na tabela a seguir.

Nome	Tipo	Pinos		Largura (W)	Comprimento (L)	Valor [Ω]	Medida [Ω]
R ₁	Polysilicon	31	30	33	1584	1 k	
R ₂	Polysilicon	32	35	33	1584	1 k	
R ₃	NWELL	30	35	33	239	4,7 k	
R ₄	Polysilicon	36	37	64	1542	500	
R ₅	Polysilicon	22	27			300	
		23	27			300	
		24	27			300	
		25	27			300	
		26	27			300	
R ₆	NWELL	28	29	40	520	10 k	
R ₇	Polysilicon	38	39	33	741	500	

4.2 Efeito Hall

Para comprovar o efeito Hall será aplicada uma corrente elétrica no resistor R₅ e será medida a tensão entre os terminais 22 e 26. O circuito elétrico é mostrado abaixo.

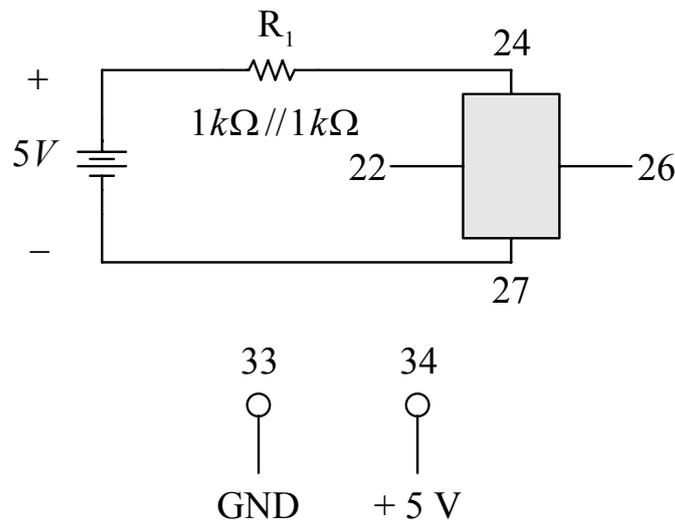


Figura 3 - Circuito para comprovar o efeito Hall.

Tensão [V] Entre 24 e 27	Tensão Hall [V] Entre 22 e 26

4.3 Efeito da temperatura

Para comprovar o efeito da resistência com a temperatura deve-se medir a resistência entre os terminais 36 e 37, na temperatura ambiente e, em seguida, aquecer o circuito integrado com uma lâmpada e continuar medindo a resistência.

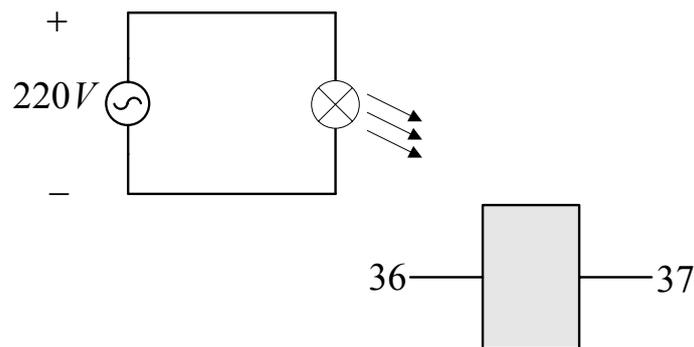


Figura 4 - Montagem para comprovar o efeito da temperatura.

Temperatura [°C] Na cápsula do CI	Resistência [Ω] Entre 36 e 37

5 QUESTÕES PARA RELATÓRIO

Responda as questões a seguir incluindo suas respostas no relatório desta experiência.

1. Calcule a resistência de folha para os resistores da tabela do item 4.1. Utilize os valores nominais e em seguida os valores medidos. Comente em relação as diferenças obtidas.
2. Explique os resultados obtidos no item 4.2, em relação à comprovação do efeito Hall.
3. Explique os resultados obtidos no item 4.3, em relação à variação da resistência com a temperatura.
4. A área do resistor tem importância quando se comprova o efeito da variação desta com a temperatura?
5. Explique o que é o efeito Hall.
6. Explique os motivos que levam a resistência de um semicondutor variar com a temperatura.

6 REFERÊNCIAS ADICIONAIS

- [1] Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. Robert L. Boylestad e Louis Nashelsky – 8ª Edição. Editora Prentice Hall, 2004;
- [2] Site do livro [1] disponível em http://www.prenhall.com/boylestad_br