

Materiais Semicondutores e Supercondutores

Departamento de Física da FCTUC

Trabalho prático nº 6

Medição do tempo de vida médio dos portadores de carga no CdS

Objectivos: Caracterizar um fotocondutor de CdS e um fotodíodo de Si e medir o tempo de vida médio dos portadores de carga no CdS.

Material

- fotocondutor de CdS
- fotodíodo de Si
- flash de halogéneo com frequencímetro
- osciloscópio
- sistema de aquisição de dados
- multímetro digital
- pilha de 9 V
- fios de ligação
- resistência de 2 k Ω e 560 Ω

1 Introdução

Os materiais semicondutores, em particular os de *gap* directo, são fotosensíveis, isto é a sua condutividade aumenta quando iluminados. Entre os materiais semicondutores de elevada fotosensibilidade destacam-se o elemento Se e o composto CdS, ambos muito utilizados no fabrico de fotocélulas e detectores de luz, por exemplo para controle do tempo de exposição de máquinas fotográficas. O CdS ($E_g = 2.4$ eV) é sensível a uma zona do espectro que coincide, aproximadamente, com a do olho humano, pelo que é particularmente adaptado para este tipo de aplicações. Outros materiais, de *gap* menor, apresentam fotosensibilidade máxima na zona do infravermelho.

Consideremos uma placa de um material semicondutor, de área A e espessura d , que é iluminado por uma fonte luminosa de intensidade $I(\omega)$. Na ausência de luz, a condutividade do material é dada pela expressão

$$\sigma_0 = e(n_0\mu_e + p_0\mu_h). \quad (1)$$

Num semicondutor dopado podemos ter $n_0 \neq p_0$. No entanto, quando é absorvido um fóton, os electrões e as lacunas são sempre criados aos pares, pelo que $\Delta n = \Delta p$ e

$$\sigma = \sigma_0 + e\Delta n(\mu_e + \mu_h) = \sigma_0 + e\Delta n\mu_h(1 + b) \quad (2)$$

onde $b = \mu_e/\mu_h$. Os pares electrão/lacuna são criados a uma certa taxa g , mas passado um tempo médio τ recombinam-se de novo.

A taxa de variação da concentração de electrões obedece à lei cinética,

$$\frac{dn}{dt} = g - \frac{n - n_0}{\tau} \quad (3)$$

No regime estacionário, $dn/dt = 0$, logo

$$\Delta n = n - n_0 = g\tau \quad (4)$$

Quando se desliga a fonte luminosa, a concentração de electrões decai para a concentração de equilíbrio na escuridão, segundo a lei exponencial

$$n(t) = n_0 + \Delta n e^{-t/\tau} \quad (5)$$

O coeficiente de geração óptico, g , depende da fonte de luz e do material semiconductor. Para uma amostra de pequena espessura, o número de fotões absorvidos pelo semiconductor por unidade de tempo é $\alpha dN(\omega)$, onde $N(\omega)$ é o número de fotões incidentes por unidade de tempo e α o coeficiente de absorção. Assim sendo, e atendendo a que o número de fotões incidentes na amostra é

$$N(\omega) = \frac{I(\omega)A}{\hbar\omega}, \quad (6)$$

resulta que

$$g = \frac{\alpha dN(\omega)}{V} = \frac{\alpha I(\omega)}{V} \hbar\omega \quad (7)$$

A variação da condutividade da amostra quando iluminada é

$$\Delta\sigma = \alpha I(\omega)\tau e\mu_h(1 + b) \quad (8)$$

Verificamos assim que um tempo de recombinação longo corresponde a uma maior fotosensibilidade do condutor. Um fotocondutor de elevada sensibilidade reage lentamente a variações da intensidade luminosa – é um detector lento. Um fotocondutor rápido terá, inevitavelmente, menor sensibilidade. O tempo de vida médio dos portadores de carga no CdS é de algumas dezenas de milisegundos, o que limita a resposta em frequência deste tipo de detectores. No entanto, foram já desenvolvidos fotodetectores ultra-rápidos, em silício implantado com átomos de Fe, o que diminui drasticamente o tempo médio de recombinação para alguns picosegundos. Estes fotocondutores ultra-rápidos têm, naturalmente, pouca sensibilidade.

Um dispositivo fotosensível que alia uma boa sensibilidade a uma grande rapidez é o fotodíodo. Um fotodíodo é semelhante a uma célula solar polarizada inversamente. A intensidade da corrente em polarização inversa é praticamente independente da tensão aplicada e varia linearmente com a intensidade da luz incidente. Os fotodíodos são normalmente baseados em tecnologia de Si. Tipicamente, a zona p da junção é a exposta à luz, e tem uma espessura muito reduzida ($\sim 1/\alpha$), por forma a que a maior parte dos fotões incidentes seja absorvida no interior da zona de depleção. Os pares electrão lacuna são separados pelo forte campo eléctrico existente na zona de depleção, originando a fotocorrente. O tempo de resposta típico deste tipo de fotodetectores é de alguns ns. Também são fabricados fotodíodos noutros materiais semicondutores como o InGaAs.

2 Procedimento experimental

Precauções:

- **Atenção: a fonte de luz estroboscópica será danificada irreversivelmente se estiver ligada durante mais de 5 min para frequências superiores a 3 kHz ou 10 min para frequências entre 1 kHz e 3 kHz!**

I – Caracterização do fotocondutor de CdS

- Meça a resistência do elemento fotocondutor de CdS na escuridão e quando iluminado.
- Ligue em série o fotocondutor e uma resistência de $2\text{ k}\Omega$ a uma pilha de 9 V. Meça a queda de tensão aos terminais da resistência com o fotocondutor tapado e iluminado.
- Ligue a fonte de luz estroboscópica e faça incidir a luz sobre o fotocondutor. Escolha uma frequência de flash de 100 Hz e observe no osciloscópio o sinal aos terminais da resistência.
- Utilize o sistema de aquisição de dados para registar o sinal. A medição deve ser efectuada com a sala às escuras ou com o fotocondutor e estroboscópio tapados com um pano negro.
- Repita as medição para as frequências de 10 Hz, 500 Hz e 1 kHz.

II – Caracterização do fotodíodo

- Ligue o fotodíodo em série com uma resistência de $560\ \Omega$ à pilha de 9 V. O fotodíodo deve ser ligado em polarização inversa!
- Determine a corrente que atravessa o díodo na escuridão e quando iluminado pela luz ambiente, a partir da queda de tensão medida aos terminais da resistência.
- Utilizando o estroboscópio, meça a duração do flash da lâmpada estroboscópica. Notar que o tempo de resposta do fotodíodo é da ordem de uma dezena de ns, muito inferior à duração do flash.

Após terminar as medições arrume todo o material. Verifique se desligou o multímetro e o osciloscópio. Confirme ainda que a pilha não continua a alimentar o circuito!

3 Análise dos dados

1. Ajuste as curvas $V(t)$ registadas para o CdS a uma equação da forma

$$V(t) = A e^{-t/\tau} + C. \quad (9)$$

O ajuste é bom? De que factores dependem as constantes A e C ?

2. Qual o tempo de vida médio dos portadores de carga no CdS?