

RELATÓRIO FINAL F609



UNICAMP

FOTOSCÓPIO



Aluno: Jefferson Ricardo Pedro

jeffersonricardop x gmail.com

Orientador: Marcos Cesar de Oliveira
marcos x ifi.unicamp.br

Coordenador: José Joaquim Lunazzi

Sumário

Descrição	3
Resultados atingidos	3
Fotos do experimento	4
Dificuldades encontradas	7
Pesquisa realizada	8
Apendice	8
Anexos	19

Descrição

Utilizando materiais simples e reaproveitáveis, conseguiu-se montar o experimento conforme figura 1, adotando a adição do circuito amplificador entre a ligação do fototransistor e o fone de ouvido. Para montagem do projeto usou um tubo de PVC num determinado comprimento de acordo com a distância focal da lente em que os raios luminosos se convergem. O fototransistor foi posicionado na extremidade oposta a da lente no tubo de PVC. Aplicando o feixe de luz da fonte próximo a lente convergente (que tem a função de convergir os raios luminosos paralelos que a atravessam) pode-se ouvir variados sons de acordo de acordo com cada frequência.

Resultados Atingidos

Em relação ao custo da aquisição dos materiais utilizados no experimento do Fotoscópio, considerou-se de baixo custo, pois grande parte dos materiais já se encontrava disponível para uso. Iniciada a montagem do experimento, conforme proposta inicial, algumas mudanças tiveram que ser realizadas para melhorar o desempenho do projeto.

O uso da lente convergente melhorou a concentração dos raios luminosos na célula do fototransistor, para tanto se teve que cortar o tubo de PVC de acordo com o comprimento focal, pois é o ponto onde os raios convergiam. A opção pela lente convergente fixa no tubo é devido à maioria das fontes a serem testadas apresentarem raios de luzes propagadas em vários sentidos.

Inicialmente foi montado o experimento conforme a figura 1 indicada no primeiro texto da proposta do projeto. Feitos testes iniciais com a foto célula, aplicando um feixe de laser, observamos a variação de tensão através do voltímetro com e sem o feixe. Porém, ao conectar o fone de ouvido para ouvir os diferentes sons conforme a frequência das fontes (laser e controle remoto) não foi possível observar nenhum tipo de som. Desta forma foi caracterizado em primeiro momento um problema com a impedância em relação ao fone de ouvido. Para correção deste problema foi adicionado um conjunto de caixa de som de computador (material de sucata) que já possui um amplificador acoplado ao circuito da placa da caixinha. O som da frequência referente ao controle remoto foi possível de observar, porém com baixa intensidade. Já com o laser não foi possível ao menos escutar alguma diferença de som. Então foi necessário montar um circuito amplificador de ganho 100 num protoboard que aumentasse a possibilidade de captar maior faixa de frequência e para que o som apresentasse melhor qualidade e intensidade. Também foi adicionado uma fonte de alimentação de tensão (adaptada para fornecer 12V) ao circuito amplificador conforme figura 7. A extensão do projeto em que se pretendia conectar um pequeno motor elétrico e LED não foi possível ser realizada devido à confecção da placa do circuito amplificador e da fonte dependerem grande parte do tempo disponível. Concluídas as fabricações de placa e fonte, montou-se o experimento e foram feitos testes com as seguintes fontes luminosas: laser, fonte de sódio, LED, controle remoto e lâmpadas fluorescentes e incandescentes. As diferenças quando ao som ouvido para cada fonte foram nítidas, porém, ao compararmos o som

gerado pelo laser e do controle remoto percebemos grandes variações. O som gerado pelo controle remoto é descontínuo, semelhantes a batidas compassadas, devido o sinal gerar pulsos. Já o som gerado pelo feixe do laser é modulado, em que se pode ouvir som único e contínuo ao ligar e desligar o feixe de luz.

Fotos do experimento

Feito uma montagem inicial dos materiais que possuía para preparo do experimento, como por exemplo cortar o tubo de PVC no comprimento da distância focal da lente usada e ligação de fios improvisados nos terminais coletor e emissor do fototransistor, captou-se a seguinte imagem.



Figura 3: Tubo de PVC com a lente e o fototransistor montados

A seguir, montou-se o experimento, conforme proposto na figura 1, que não obteve o resultado esperado. A foto captada esta abaixo.

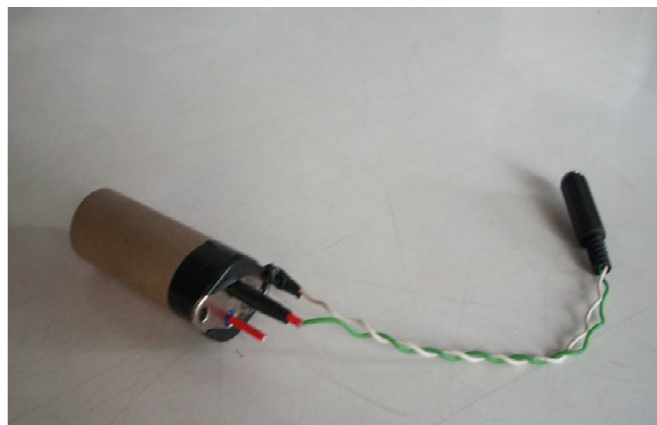


Figura 4: Montagem conforme proposta inicial do projeto

O desenho do esquema do circuito Amplificador de ganho 100 e sua finalização de fabricação.

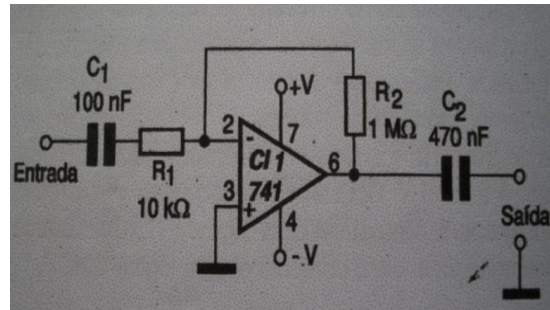


Figura 6: Desenho esquemático do Amplificador de Ganho 100

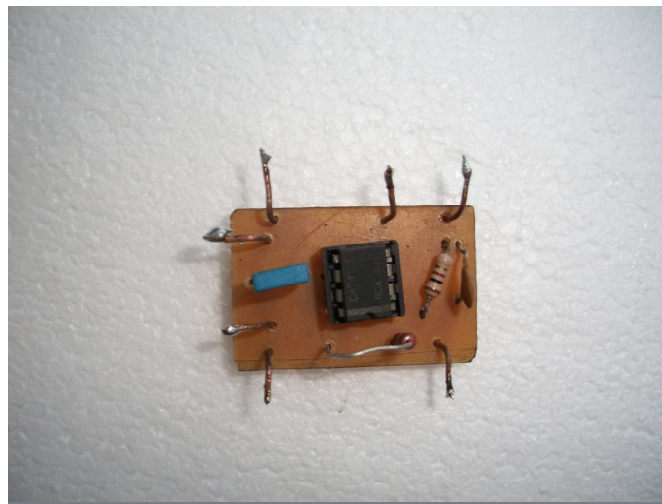


Figura 7: Fabricação de Circuito amplificado de Ganho 100

A fonte de tensão para alimentação do circuito está apresentada nas fotos abaixo.



Figura 8: Fonte de tensão do circuito amplificador (Aberta)

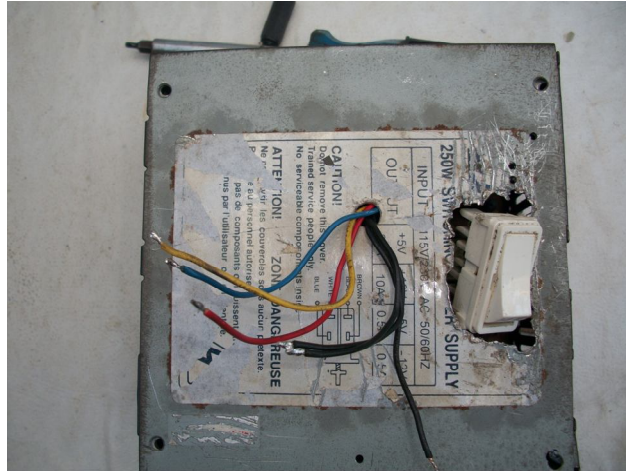


Figura 9: Fonte de tensão do circuito amplificador (Fechada)

A embalagem de isopor com fechamento por velcro está apresentada nas figuras 10 e 11 abaixo.



Figura 10: Embalagem da haste do Fotoscópio



Figura 11: Caixa fechada com a haste

Na foto abaixo, apresenta-se a montagem final do experimento para o dia da apresentação (Figura 12) e montagem final após elementos fixados (figura 13): laser de mão, controle remoto e transistores.



Figura 12: Montagem Final



Figura 13: Montagem final com os elementos fixados

Dificuldades encontradas

As aquisições da maioria dos materiais não apresentaram maiores dificuldades por ser tratar de produtos simples e também porque já possuía alguns deles em casa. Os que foram comprados também podem ser encontrados em qualquer loja de produtos eletrônicos.

Apresentou dificuldade a retirada da capsula protetora do fototransistor, pois tinha que se tomar cuidado para não danificar a foto célula que é muito sensível.

A montagem inicial era relativamente simples, e após conferido as ligações concluiu-se que havia um problema de impedância em relação ao fone de ouvido. Para corrigir este problema foi adicionado duas pequenas caixas de som, circuito amplificador e fonte compatível para melhorar a intensidade do som ouvido. O desenho do circuito foi encontrado numa revista de eletrônica que já possuía. A confecção da placa do circuito

ocasionou certa dificuldade de confecção, pois não detenho muita experiência neste tipo de construção, pois tive que fazer algumas pesquisas nesse sentido. Em relação a fonte de tensão, apenas a adaptação do circuito amplificador sobre a fonte de tensão que gerou problemas de fixação.

Quando se testa o laser, a lente convergente gera uma dificuldade mínima para posicionamento do feixe ao apontar a luz na célula do foto transistor, pois o feixe de luz é concentrado. Assim, o posicionamento correto do feixe de luz do laser deve ser na direção do eixo principal da lente para haver o menor número de desvios possíveis. O fechamento da embalagem da haste do Fotoscópio também gerou problema, mas foi solucionado com uma caixa de isopor e velcros.

Com essas modificações obtiveram-se os resultados esperados conforme proposta do projeto.

Pesquisa Realizada

Algumas palavras chaves mais usadas para pesquisa no desenvolvimento deste projeto foram: fototransistor, célula caseira, fotoscópio, conversão energia luminosa, confecção placa circuito, montagem circuito elétrico e lentes convergentes.

- Sobre o site da Feira de Ciências do experimento:

http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_28.asp

- Sobre artigo publicado de células caseiras no site da Sociedade Brasileira de Física

<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/040608.pdf>

O desenho do circuito Amplificador de Ganho 100 foi encontrado na revista Circuitos & Soluções de nº 05 na página 45. E a confecção da placa seguiu-se tendo por orientação alguns links da internet.

Links da internet

<http://www.editorialbolina.com/elektor/downloads/placasCI.pdf>

<http://www.tutomania.com.br/tutorial/construcao-manual-de-placas-de-circuito-impresso>

- Sobre o funcionamento e a geometria da lente convergente:

<http://www.estig.ipbeja.pt/~fmc/Docs/lentes.doc>

Apendice

A célula solar usada neste experimento é composta de uma junção semicondutora p-n. Os materiais semicondutores são caracterizados por uma faixa de energia proibida ou *gap* de energia (E_g). Temos apresentado na figura 11 a) abaixo o perfil das bandas de energia em uma junção p-n. Os níveis de Fermi E_F (nível mais alto ocupado por um sistema quântico a temperatura zero) nos materiais dopados (adição de impurezas químicas para melhora da condutividade eletrônica) diferentemente encontram-se em diferentes energias e os elétrons fluem da região tipo n (de maior potencial) para a de tipo p (de menor potencial) através da junção devido a descontinuidade da concentração

de elétrons. Este processo continua enquanto existir uma diferença de potencial através da junção. Apesar de ambos os tipos p e n serem eletricamente neutros, o tipo n tem uma concentração de elétrons maior que o tipo p. Para tentar equalizar a concentração de elétrons, estes se difundem do tipo n para o tipo p. O campo elétrico, assim, incentiva elétrons a voltar para o tipo n. Eventualmente, um estado é atingido no qual as duas forças são balanceadas e a concentração de elétrons varia de forma harmoniosa na junção.

A região localizada imediatamente ao lado de qualquer junção é conhecida como região de depleção porque ali há poucos portadores de carga (elétrons ou buracos). A carga elétrica desta região é dada apenas pela carga das impurezas que foram ionizadas por ação do campo elétrico na região da interface.

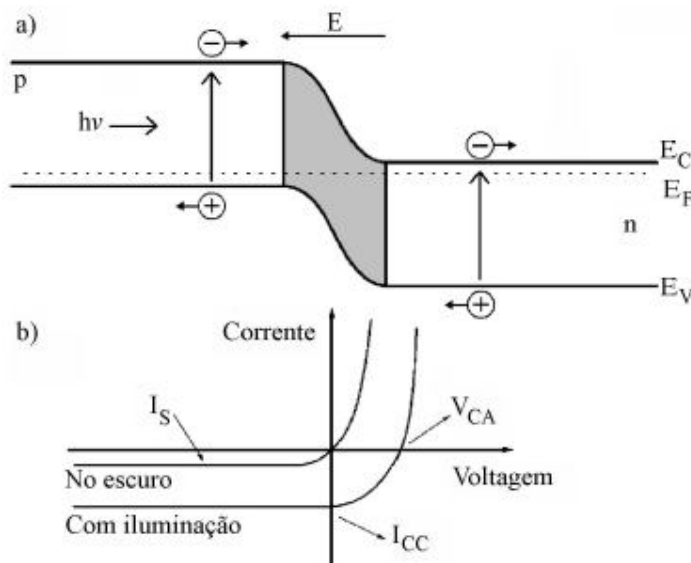


Figura 11 a) e 11 b)

Na figura 11 a) junção p-n, onde E_g representa o *gap* de energias proibidas, $E_C; V$ são o fundo da banda de condução e o topo da de valência, respectivamente e E representa o campo elétrico na junção, (b) corrente em uma junção p-n sem e com iluminação: I_S é a corrente de saturação e I_L é a corrente foto-gerada, I_{CC} é a corrente de curto circuito ($V = 0$), V_{CA} é a voltagem em circuito aberto ($I = 0$). A curva característica de uma célula solar sob iluminação permite determinar a potência máxima fornecida, a qual é representada pela área hachurada. I_m e V_m são as voltagem e corrente máximas que podem ser fornecidas para uma dada potência de iluminação.

O foto diodo polarizado externamente apresenta características de corrente voltagem de uma junção p-n, seguindo a expressão a seguir (1)

$$I = I_S \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right], \quad (1)$$

Onde I_S é a corrente de saturação, V é a polarização externa aplicada à junção e os outros símbolos tem seus significados usuais conhecidos. A corrente líquida está demonstrada pela expressão acima.

Iluminando a junção p-n, os elétrons são excitados da banda de valência para a banda de condução, originando um buraco na banda de valência. Devido ao fluxo de um lado para outro, buracos e elétrons, que foram foto excitados no material podem deslocar até a região de depleção antes de recombinarem, sendo acelerados pelo campo elétrico na interface da junção, contribuindo assim para a formação da corrente I_L que terá o mesmo sentido da corrente de saturação I_S . Assim a corrente total será

$$I = I_S \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] - I_L. \quad (2)$$

A corrente mede a eficiência de converter radiação de energia em pares de elétrons buracos com dependência do comprimento de onda.

A potencia total útil da célula solar entregue a uma carga RL é dada por

$$P = IV = VI_S \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] - VI_L, \quad (3)$$

Com potência máxima dada por $P_m = I_m \cdot V_m$ que será obtida quando

$$\left(\frac{dP}{dV} \right)_{V_m, I_m} = 0.$$

Assim, fazendo a derivada acima e resolvendo para $V = V_m$

$$\frac{qV_m}{kT} = \ln \left[\frac{1 + \frac{I_L}{I_S}}{1 + \frac{qV_m}{kT}} \right]. \quad (4)$$

Substituindo a Eq. (4) na Eq. (2), encontramos facilmente a corrente máxima I_m :

$$I_m = I_S \frac{qV_m}{kT} \exp\left(\frac{qV_m}{kT}\right), \quad (5)$$

E o produto $I_m V_m$ fica determinado. Para resolver a equação (4), supor que $I = 0$, ou seja, iremos determinar a voltagem em circuito aberto (VCA) fornecida pela célula solar. Desta forma a Eq. (2) torna-se

$$0 = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)_{V_{CA}} - 1 \right] - I_L,$$

Ou

$$\exp\left(\frac{qV_{CA}}{kT}\right) = \frac{I_L}{I_S} + 1.$$

Substituindo na equação (4) teremos

$$V_m = V_{CA} - \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \frac{qV_m}{kT} \right]. \quad (6)$$

Com isso, conhecendo as características e o funcionamento da célula, podemos compreender a operação no modo fotovoltaica em que é disponibilizada uma tensão e corrente úteis limitados na sua caracterização.

Sinais de Ondas

Sinais (Ondas) de pulso - o aspecto geral é o de uma onda quadrada, exceto que as formas de ondas de pulsos têm toda sua ação se desenvolvendo acima do eixo dos

tempos (apenas valores positivos de tensão). No início de um pulso, a tensão muda repentinamente de um "nível baixo" (perto do eixo dos tempos) para um "nível alto" (em geral perto da tensão da fonte de alimentação).

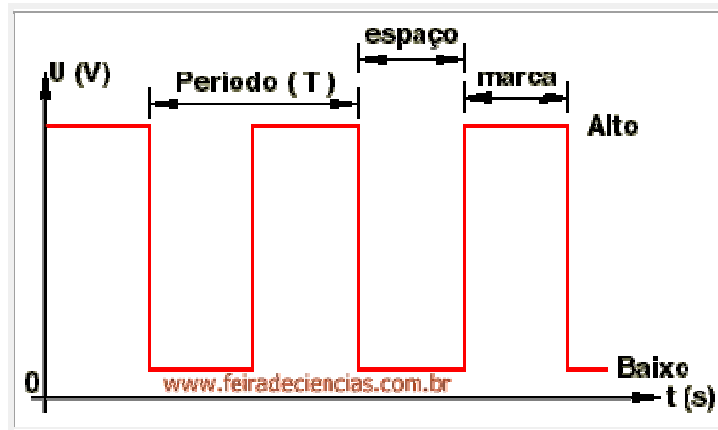


Figura 11: Ondas de pulsos

Esse sinal também é reconhecido pela denominação trem de pulsos, caracterizado pela alternância entre um estado (nível) de amplitude nula (ou quase nula) e outro de amplitude máxima, com durações iguais. Quando o tempo de duração em um dos estados é maior/menor que no outro, recebe o nome de trem de pulsos retangulares. Esse tipo de sinal é utilizado sobretudo para a "modulação por largura de pulso" (PWM); também pode ser usado como elemento básico de 'síntese subtrativa' em sintetizadores analógicos. Em Informática, tais sinais são utilizados na transmissão serial de dados em redes de computadores.

Algumas vezes a 'frequência' de uma forma de onda de pulso (quadrado) é indicada como sua "taxa de repetição"; nada para estranhar, é o seu número de ciclos por segundo, medido em hertz (Hz) ou seus múltiplos.

Sinais (Ondas) Modulados - é o processo de variação de altura (amplitude), de intensidade, frequência, do comprimento e/ou da fase de onda numa onda de transporte, que deforma uma das características de um sinal portador (amplitude, fase ou frequência) que varia proporcionalmente ao sinal modulador.

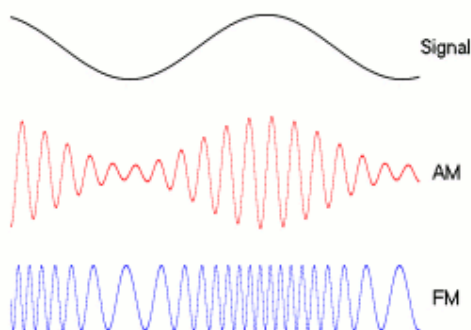


Figura 12: Imagem em que se mostra a principal diferença entre a amplitude modulada e a frequência modulada.

Assim, desta forma são caracterizados os sons que ouvimos no experimento, ou seja, os que apresentam pulsos e os que são modulados.

Lentes

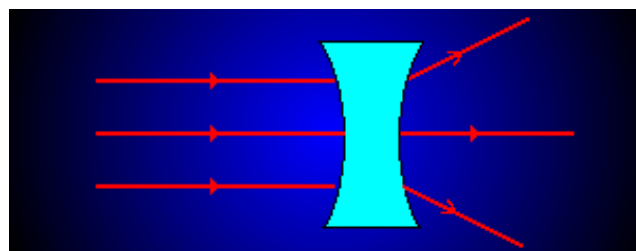
Definição de Lente: São materiais homogêneos e transparentes, em que pelo menos uma face deve apresentar uma curvatura.

Tipos de Lentes: Podemos dois tipos principais de lentes: as convexas e as côncavas.

As Lentes Côncavas: Uma característica que podemos usar para identificá-las, é que possuem as bordas (extremidades) mais grossas, que a parte mediana. Podemos dar nome a essas lentes dependendo do tipo de superfície, como na figura abaixo:

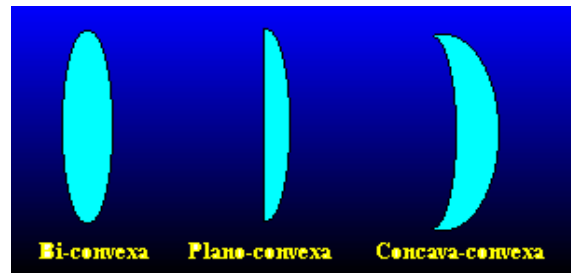


Uma outra característica destas lentes são a capacidade que elas têm em divergir os raios de luz, quando $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$.

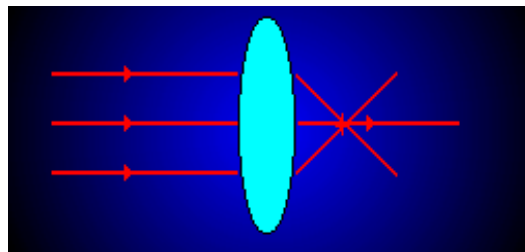


As Lentes Convexas:

São lentes de bordas delgadas (finas). Podem ter a seguinte nomenclatura:

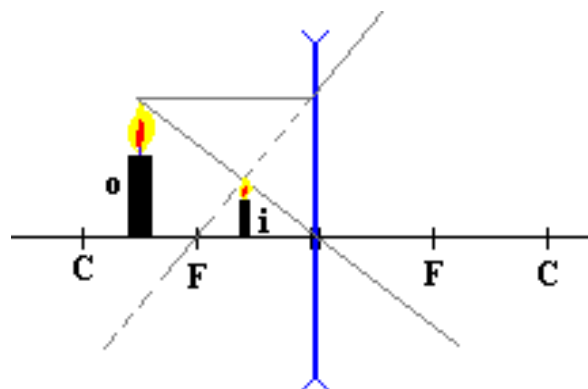


São lentes que convergem os raios de luz.



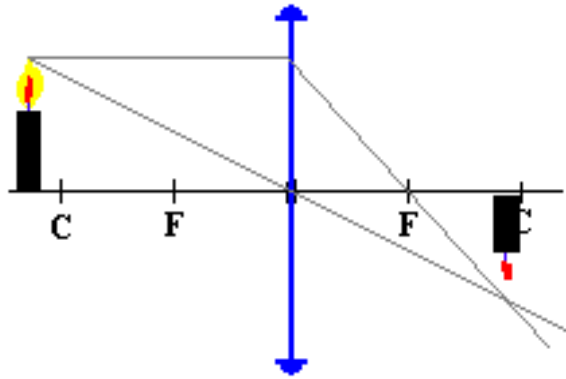
Imagens de um objecto frente às Lentes:

- A imagem de uma lente divergente é sempre *virtual, direita e menor* que o objecto.

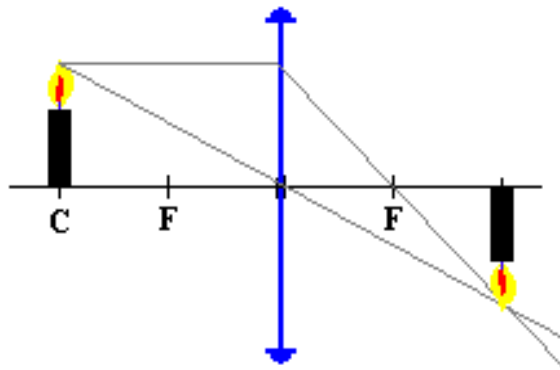


Mas para as lentes convergentes, depende da posição do objecto em relação a lente.

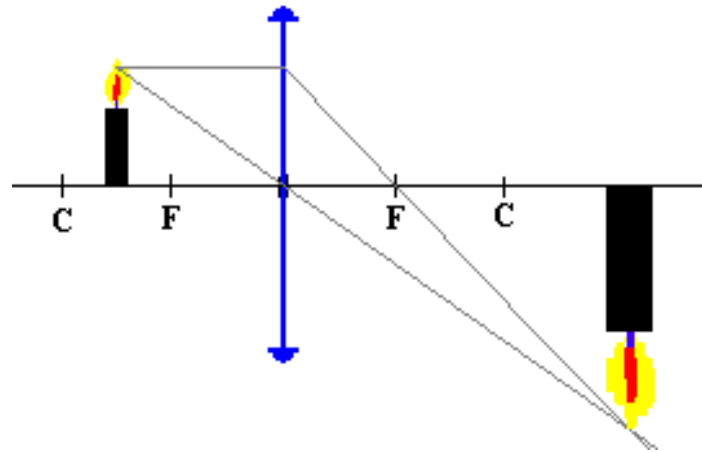
- Quando o objecto está além do C, temos uma imagem **real, menor e invertida**.



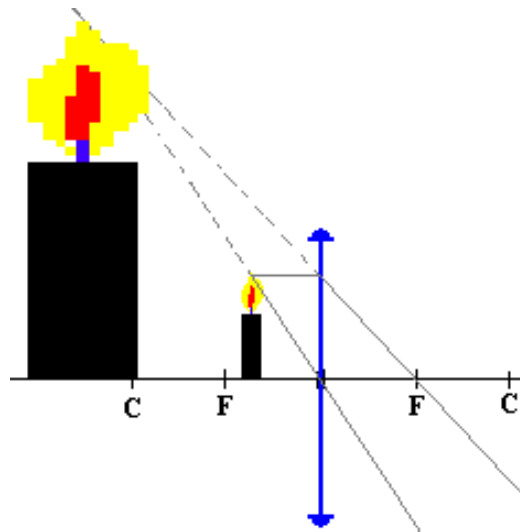
- Quando o objecto está no C, temos uma imagem, **real, igual e invertida**.



- Quando o objecto está no entre C e F, temos uma imagem, **real, invertida e maior**.



- Quando o objecto está no F a imagem é imprópria.
- Quando o objecto está entre o F e o centro óptico, a imagem é **virtual, direita e maior**.



Estudo Analítico das Lentes

Dadas a posição e a altura de um objecto relativamente a uma lente delgada, a posição e a altura da imagem podem ser determinadas analiticamente. Para isso adoptaremos o seguinte sistema de coordenadas:

- Origem – centro óptico da lente
- Eixo das abcissas – direcção do eixo principal e sentido contrário ao da luz incidente para os objectos e a favor do da luz incidente para as imagens
- Eixo das coordenadas – direcção da perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente

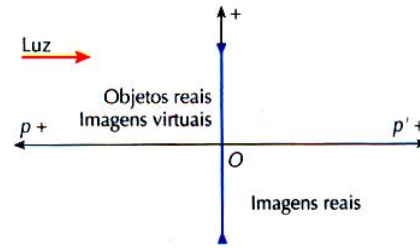
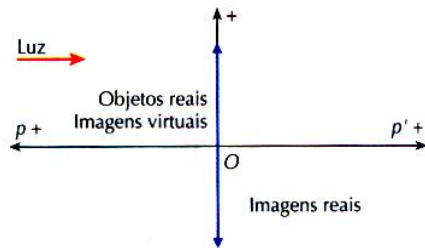
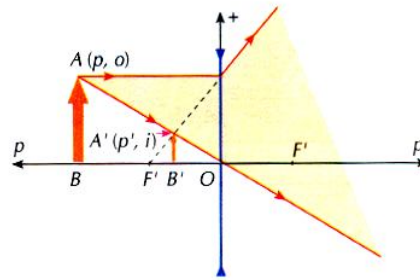
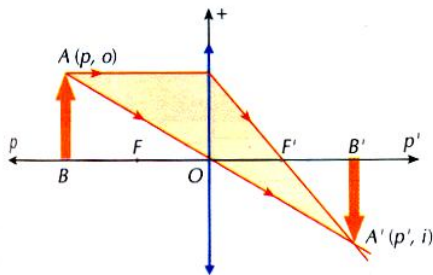


Imagem real: $p' > 0$

Objecto real: $p > 0$

Imagem virtual: $p' < 0$



i e o têm o mesmo sinal – imagem direita em relação ao objecto.

i e o têm sinais contrários – imagem invertida em relação ao objecto.

Distância focal e vergência das lentes

A abscissa f do foco principal, objecto ou imagem, é denominada distância focal da lente.

A distância focal é positiva nas lentes convergentes e negativa nas lentes divergentes.

Lente convergente: $f > 0$

Lente divergente: $f < 0$

Os pontos anti principais C e C' têm abscissa 2f, sendo, portanto, positiva nas lentes convergentes e negativa nas lentes divergentes.

Vergência D de uma lente é, por definição, o inverso da sua distância focal, apresentando o mesmo sinal que esta:

$$D = \frac{1}{f}$$

Lente convergente: $D > 0$

Lente divergente: $D < 0$

A unidade mais comum de vergência é o inverso do metro (m^{-1}), denominada dioptria d

Fórmula das Lentes

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (\text{Edmund Halley})$$

n_2 é o índice de refração da lente

n_1 é o índice de refração do meio que envolve a lente

R_1 e R_2 são os raios de curvatura

Face convexa → raio positivo

Face côncava → raio negativo

Quando uma das faces da lente é plana, o seu raio pode ser considerado infinitamente

grande, e a fórmula anterior toma a forma: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \frac{1}{R}$

Equação dos pontos conjugados

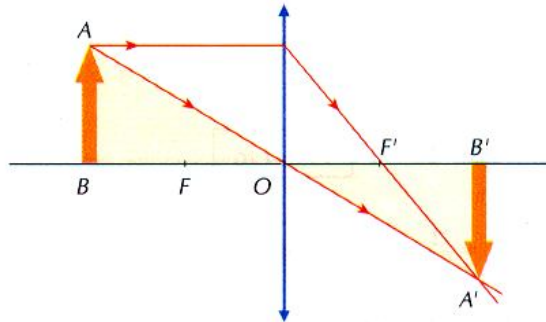
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Aumento transversal

$A = \frac{i}{o}$ Indica quantas vezes a imagem é maior ou menor que o objeto

O aumento transversal A pode ser expresso em função das abcissas p e p' de objecto e imagem.

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Leftrightarrow A = -\frac{p'}{p}$$



$A > 0$

i e o têm o mesmo sinal \rightarrow imagem direita

p e p' têm sinais opostos \rightarrow sendo o objecto real ($p > 0$), a imagem é virtual ($p' < 0$)

$A < 0$

i e o têm sinais opostos \rightarrow imagem invertida

p e p' têm o mesmo sinal \rightarrow sendo o objecto real ($p > 0$), a imagem é real ($p' > 0$)

Nota: Não vamos considerar os casos em que o objecto é virtual, uma vez que a sua ocorrência só se dá quando há associação de lentes ou de lentes e outros sistemas ópticos.

Comentários do orientador

“O projeto se desenvolveu num ritmo adequado, as dificuldades surgidas foram superadas por orientações e esforço do aluno. O experimento foi bem confeccionado e desempenha aquilo que foi proposto”.

Anexos

Células solares “caseiras” (“Homemade” solar cells)

Reginaldo da Silva¹, Adenilson J. Chiquito, Marcelo G. de Souza e Rodrigo P. Macedo

Laboratório de Semicondutores, Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil
Recebido em 28/06/2004; Aceito em 22/09/2004

Usando alguns transistores de potência comerciais construímos uma bateria solar para uso como demonstração ou para o fornecimento de energia para pequenos projetos. Além disso, foi realizado um estudo destas células, medindo suas curvas características para diferentes fontes de luz.

Palavras-chave: energia solar, dispositivos de silício.

Using some power transistors, it was developed a solar battery which can be used in science demonstrations or as a power supply for simple experiments. We study also the characteristic curves of these cells using different light sources.

Keywords: solar energy, silicon devices.

1. Introdução

Muito tempo antes da atual e necessária procura por novas tecnologias de geração de energia, mais limpas, eficazes e de menor custo ambiental, as células solares já haviam mostrado sua potencialidade neste campo. Por volta de 1950, foi desenvolvida a primeira célula solar usando uma junção p-n de silício [1] e logo em seguida outros materiais semicondutores começaram a ser usados na produção de células. Inicialmente, foram usadas com um enorme sucesso no fornecimento de energia para satélites e veículos espaciais (décadas de 60 e 70), e em seguida em pequenas aplicações “terrestres”. Atualmente com a escassez de fontes renováveis de energia, as células solares vêm ganhando espaço devido a seu custo de produção ter diminuído graças às novas tecnologias de fabricação.

Do ponto de vista de funcionamento, uma célula solar é um fotodiodo com uma grande área que pode ser exposta à luz, seja solar ou não. Desta forma, qualquer diodo (junção p-n) cuja área ativa possa ser exposta à luz tornar-se-á uma célula solar! Obviamente, queremos dizer que o diodo irá se comportar como

uma célula solar mas não produzirá energia suficiente para uma aplicação comercial, como fonte de energia, embora seja de fácil utilização como equipamento didático em demonstrações práticas.

Alguns transistores comerciais fabricados em invólucros de metal (como o 2N3055) possuem uma pastilha de um material semicondutor (silício) relativamente grande e que pode ser usada diretamente como uma célula solar. Isto é possível porque um transistor basicamente possui duas junções p-n (o 2N3055 é do tipo n-p-n) as quais funcionam como diodos. Se expostas à luz, comportam-se como fotodiodos ou células solares.

Partindo desta idéia, realizamos uma série de experimentos com estas células solares que podemos chamar de caseiras, procurando entender de um modo geral, o funcionamento de tais fontes alternativas de energia. A seguir é apresentada uma descrição da teoria básica de uma junção p-n, importante para a compreensão de como é gerada a corrente em uma célula solar; em seguida, são descritos alguns experimentos que usam o transistor acima citado como fonte de energia.

¹Enviar correspondência para Reginaldo da Silva. E-mail: perna@polvo.ufscar.br.

2. As células solares

Uma célula solar convencional é geralmente composta de uma junção semicondutora p-n. Os materiais semicondutores, dopados ou não, são caracterizados por uma faixa de energia proibida ou *gap* de energia (E_g)². Na Fig. 1(a) temos a representação esquemática do perfil das bandas de energia em uma junção p-n [2]. Unindo dois semicondutores de mesma energia de *gap* mas com dopagem diferente (tipo p - excesso de cargas positivas, ou buracos e tipo n - excesso de cargas negativas, ou elétrons), surge um campo elétrico na região da interface como consequência do desequilíbrio de cargas de cada lado da junção. Alcançado o equilíbrio, as bandas de energia são curvadas como aparece na Fig. 1(a), dando origem a uma região conhecida como região de depleção, cuja principal característica é a falta de portadores de carga livres, elétrons ou buracos. A carga elétrica desta região é dada apenas pela carga das impurezas que foram ionizadas por ação do campo elétrico na região da interface.

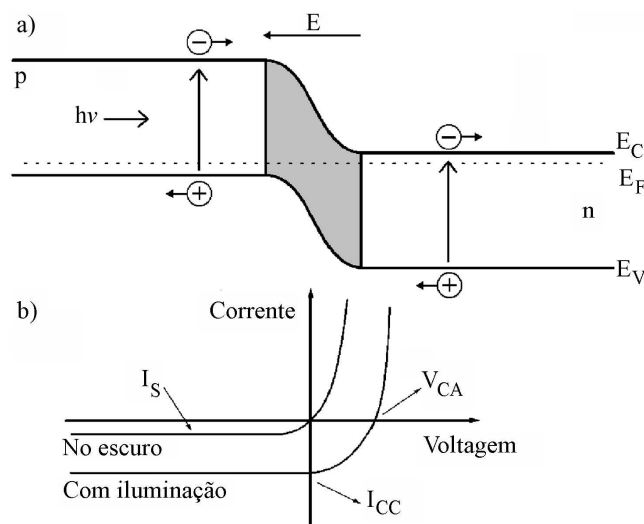


Figura 1 - (a) junção p-n, onde E_g representa o *gap* de energias proibidas, $E_{C,V}$ são o fundo da banda de condução e o topo da de valência, respectivamente e E representa o campo elétrico na junção; (b) corrente em uma junção p-n sem e com iluminação: I_S é a corrente de saturação e I_L é a corrente foto-gerada, I_{CC} é a corrente de curto circuito ($V = 0$), V_{CA} é a voltagem em circuito aberto ($I = 0$). A curva característica de uma célula solar sob iluminação permite determinar a potência máxima fornecida, a qual é representada pela área hachurada. I_m e V_m são as voltagem e corrente máximas que podem ser fornecidas para uma dada potência de iluminação.

Vamos agora discutir algumas características de

uma junção semicondutora como a da Fig. 1 e como são influenciadas pela luz. Como mencionado acima, uma célula solar ou um fotodiodo referem-se à mesma estrutura e se polarizados externamente, apresentam as características de corrente-voltagem de uma junção p-n, seguindo uma expressão simples, dada a seguir [3]:

$$I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

onde I_S é a corrente de saturação, V é a polarização externa aplicada à junção e os outros símbolos têm seus significados usuais. A equação acima mostra qual é a corrente líquida na junção p-n (elétrons e buracos) se a ela aplicar-se uma polarização V .

Quando uma junção for iluminada por uma radiação (luz) de energia $h\nu$, elétrons da banda de valência podem ser excitados para a banda de condução, deixando um buraco (portador de carga positiva) na banda de valência. Este sistema é conhecido como par elétron-buraco. Quando a iluminação é retirada, ocorre a recombinação do par elétron-buraco, com os elétrons excitados retornando para a banda de valência. Para que este processo ocorra, somente uma radiação com energia $h\nu > E_g$ será efetivamente aproveitada: energias menores que a energia do *gap* não conseguem excitar elétrons da banda de valência para a de condução e como não existem estados eletrônicos entre as duas bandas de energia não haverá excitação. Para fixação de conceitos, o processo de conversão da radiação em corrente elétrica é baseado fundamentalmente na criação de pares elétron-buraco pela absorção dos fótons da radiação incidente.

Sob iluminação, buracos e elétrons que foram fotoexcitados no material podem deslocar-se até a região de depleção antes de se recombinarem, sendo acelerados pelo campo elétrico na interface (Fig. 1) de um para outro lado da junção, contribuindo com uma corrente I_L que terá o mesmo sentido da corrente de saturação I_S . Assim, levando em conta fotoexcitação, a corrente total será

$$I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - I_L. \quad (2)$$

A corrente I_L está ligada a um propriedade chamada eficiência quântica que mede a “habilidade” do material usado em converter fótons em pares

²Dopagem refere-se ao processo de incorporação de impurezas na rede cristalina do semicondutor, fornecendo cargas elétricas adicionais úteis para o desenvolvimento de dispositivos. E_g é o intervalo de energia que separa as bandas de condução e de valência de um semicondutor. Neste intervalo não existem níveis de energia acessíveis aos portadores de carga, sejam elétrons ou buracos.

elétron-buraco e depende do comprimento de onda usado. A noção simples de que quanto maior for a intensidade da luz incidente na célula maior será a corrente produzida, esbarra no valor da eficiência quântica que é um fator limitante da corrente final produzida pela célula solar. Na seção seguinte iremos trabalhar com esta propriedade. Além disso, deve-se lembrar também que ao penetrar em um determinado material a radiação incidente pode excitar outros processos (espalhamento elásticos ou inelásticos com a rede cristalina, por exemplo) e ser absorvida. Tais processos também limitam a faixa de operação de uma célula solar (alteram também a eficiência quântica), mas não serão discutidos aqui. Para um tratamento mais geral ver a Ref. [3] e suas referências.

Como uma fonte de energia, precisamos determinar a potência total útil entregue pela célula solar a uma carga R_L , quando iluminada. A potência é escrita como o produto da voltagem pela corrente produzida pela célula, ou seja [3],

$$P = IV = VI_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - VI_L, \quad (3)$$

e a potência máxima [$P_m = I_m V_m$], com I_m e V_m indicados na Fig. 1(c), será obtida quando

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_{V_m, I_m} = 0.$$

Assim, fazendo a derivada acima e resolvendo para $V = V_m$, obtemos

$$\frac{qV_m}{kT} = \ln \left[\frac{1 + \frac{I_L}{I_S}}{1 + \frac{qV_m}{kT}} \right]. \quad (4)$$

Substituindo a Eq. (4) na Eq. (2), encontramos facilmente a corrente máxima I_m :

$$I_m = I_S \frac{qV_m}{kT} \exp\left(\frac{qV_m}{kT}\right), \quad (5)$$

e o produto $I_m V_m$ fica determinado. Para calcular o valor deste produto falta encontrar uma solução para a Eq. (4) a qual é uma equação transcendental e não admite soluções analíticas. Para isso, podemos inicialmente reescrever a Eq. (2) supondo que $I = 0$, ou seja, iremos determinar a voltagem em circuito aberto (V_{CA}) fornecida pela célula solar. Desta forma a Eq. (2) torna-se

$$0 = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)_{V_{CA}} - 1 \right] - I_L,$$

ou

$$\exp\left(\frac{qV_{CA}}{kT}\right) = \frac{I_L}{I_S} + 1.$$

Substituindo na Eq. (4), obtemos:

$$V_m = V_{CA} - \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \frac{qV_m}{kT} \right]. \quad (6)$$

A Eq. (6) continua sem solução analítica, mas permite uma estimativa do valor da voltagem máxima que pode ser fornecida pela célula solar. Com este parâmetro inicial podemos encontrar o valor de V_m numericamente, calcular I_m e determinar a potência máxima fornecida pela célula quando iluminada. É importante destacar que a aplicação de uma polarização externa como descrito acima serve para caracterização da célula solar como dispositivo eletrônico (esse modo de operação é conhecido como fotocondutivo e basicamente usado em fotodiodos). Após determinar as características e o funcionamento da célula, esta é normalmente operada no modo fotovoltaico, no qual os terminais da célula disponibilizam uma tensão e corrente úteis e dentro dos limites encontrados na caracterização.

3. Aquisição, preparação e caracterização das células solares

Como mencionado na Introdução, os transistores do tipo 2N3055 apresentam uma pastilha de silício que tem dimensões razoáveis para ser usada como uma célula solar de demonstração. Esta idéia não é nova, e o leitor interessado pode procurar, usando uma ferramenta de busca na Internet, outras informações e transistores que podem ser usados. Algumas publicações técnicas destinadas ao público em geral também têm repetidos artigos sobre este assunto (ver por exemplo, Eletrônica Total, Saber Eletrônica, entre muitas outras). Nossa intenção principal aqui é caracterizar este transistor como célula solar, tentando entender como se processa a conversão luz/corrente elétrica em uma junção semicondutora, e após isso, propor experimentos que possam ser usados até mesmo em salas de aula.

O transistor 2N3055 é facilmente encontrado no comércio de componentes eletrônicos a um custo médio de R\$ 5,00 ou mesmo em sucatas. Este tipo de transistor é muito usado em sistemas de potência de equipamentos de som e TV e também em sistemas de

regulagem de corrente/tensão. O aspecto deste componente e a identificação de sua pinagem estão na Fig. 2(a) e Fig. 2(b). A blindagem externa serve tanto para proteção mecânica da pastilha de silício como também evita a penetração de luz. Para usá-lo em nossas experiências, inicialmente retiramos a parte superior do transistor como mostra a Fig. 2(c). Note que ficam expostos a pastilha de silício e os contatos elétricos como mostrado em detalhe na mesma figura. Dependendo do fabricante do transistor, a pastilha vem coberta por uma resina plástica esbranquiçada (como em nosso caso) que limita a quantidade de luz que chega à junção. Esta resina pode ser retirada utilizando-se um solvente orgânico como o tetracloreto de carbono ou o tricloetileno. Entretanto dada a alta toxicidade destes dois solventes resolvemos manter a resina³.

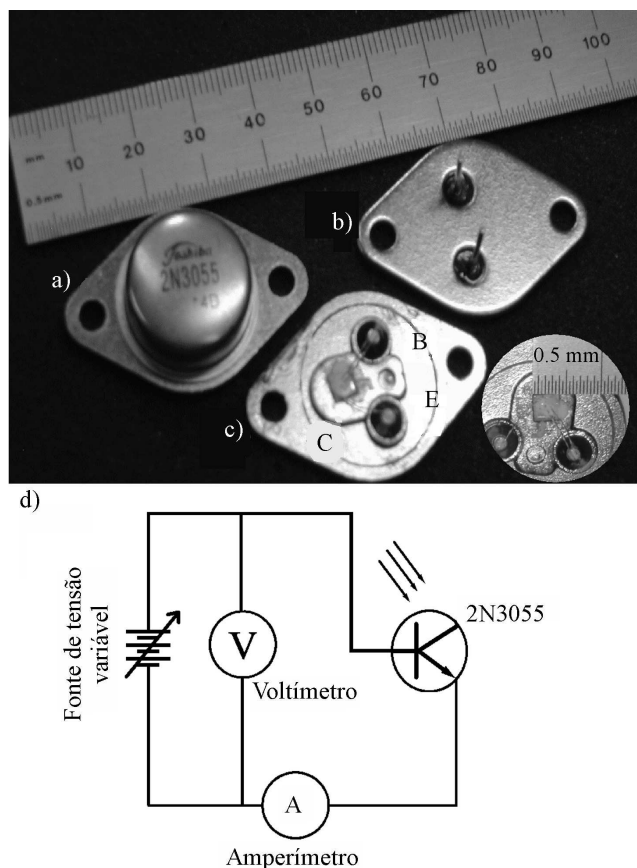


Figura 2 - (a) aspecto de um transistor de potência 2N3055 (topo); (b) mesmo transistor, agora visto por baixo; (c) sem o invólucro superior de proteção. Neste caso vê-se a pastilha de silício (colocada também no detalhe) e o contatos elétricos de base (B) e emissor (E). A terceira conexão elétrica (coletor, C) é feita no dissipador de calor sobre o qual está colada a pastilha; (d) esquema elétrico usado para a caracterização da célula solar.

³Usando os solventes indicados, retirou-se a resina de um transistor para comparar sua sensibilidade ao de outro, ainda com resina. Os dois transistores mostraram praticamente o mesmo comportamento, não justificando a retirada da resina.

Retirada a proteção, efetuamos as ligações elétricas no transistor. Usualmente, uma célula solar é construída com apenas uma junção p-n; logo, precisamos utilizar dois dos três terminais presente no transistor (lembre-se que o 2N3055 tem duas junções p-n) e desta forma, mesmo transistores “queimados” podem servir para nossas experiências, pois podemos aproveitar a junção que não esteja estragada. Com isso, temos uma célula solar caseira e como ilustrado na Fig. 2(d) montamos um circuito elétrico simples usado para a obtenção das curvas de corrente por voltagem sob diferentes condições de iluminação. Usando este circuito, foram levantadas curvas de corrente por voltagem para diferentes condições, como descrito a seguir.

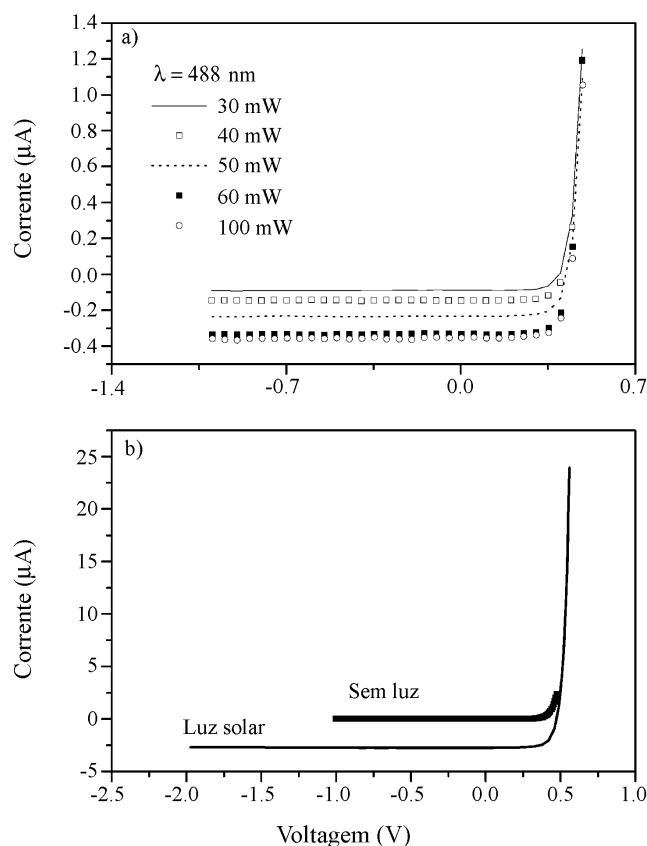


Figura 3 - (a) curvas de corrente por voltagem características da célula solar usada, quando sob iluminação (laser, $\lambda = 488$ nm) em várias potências; (b) resposta da célula solar quando iluminada com luz solar. Note que a corrente obtida é bastante maior que a obtida com a iluminação pelo laser.

Na Fig. 3(a) apresentamos as curvas citadas acima usando como fonte de luz um laser de íons de Argônio com um comprimento de onda fixo em $\lambda = 488$ nm

mas com potência variável entre 30 mW e 100 mW⁴. Através da observação destas curvas podemos verificar o efeito produzido pela potência da luz incidente sobre a célula solar, fator não levado em conta *explicitamente* na Eq. (2). Aumentando a potência incidente sobre a área da célula houve um aumento expressivo da corrente. No entanto, o aumento da corrente mostrou uma tendência à saturação, ou seja, a corrente tende a um valor máximo em função da potência aplicada na célula. Este efeito fica bem evidente nas duas últimas curvas, obtidas para potências de 80 e 100 mW, as quais mostram um aumento relativo de corrente muito menor em comparação com as outras curvas. Este comportamento está basicamente ligado à natureza do sistema, e de maneira simples podemos entender o resultado observando a dependência da corrente fotogerada com o comprimento de onda da luz incidente, a chamada eficiência quântica e a área sob iluminação. A corrente I_L pode ser escrita em termos microscópicos como [4]

$$I_L = \frac{\eta q P_L \lambda}{hc}, \quad (7)$$

onde η é a eficiência quântica, q a carga eletrônica, P_L é a potência da luz incidente, λ é o comprimento de onda, h a constante de Planck e c a velocidade da luz. Para o material (silício) e o comprimento de onda usados, a eficiência quântica é relativamente baixa ou aproximadamente 20 % de conversão. Voltando à Eq. (7), dados η e λ , a corrente I_L irá depender da intensidade de luz incidente, como observado. Desse forma, quanto maior a potência da luz incidente, maior seria a corrente fotogerada. Mas não foi isso o observado em nossos experimentos: lembrando que a área sob iluminação não se altera, aumentando a intensidade da luz aumentamos o número de fótons incidentes mas nem todos os fótons são aproveitados para a criação de pares elétron-buraco: a corrente observada satura.

Finalmente, para concluir a caracterização de nossa célula solar precisamos usá-la de fato, ou seja, como conversora de luz em corrente elétrica. Para isso a célula foi exposta à luz solar, com incidência normal e os experimentos foram realizados no dia 22 de abril de 2004 entre 12:00 e 12:30 horário oficial de Brasília. As curvas obtidas sem e com exposição ao Sol estão na Fig. 3(b). Usando a Eq. (6), obtivemos $V_m = 0.404$ V, visto que $V_{CA} = 0.473$ V [Fig. 3(b)]. Usando agora a Eq. (5), a corrente máxima encontrada

foi $I_m = 0.031$ A e portanto a potência máxima que nossa célula pode fornecer é $P_m = V_m I_m = 12$ mW. É interessante comparar as correntes máximas fornecidas pela célula para iluminação com o laser ($\lambda = 488$ nm, $P_L = 100$ mW) e com luz solar: esta última produziu uma corrente (I_L) cinco vezes maior que a proporcionada pelo laser. Lembrando que a eficiência quântica do silício aproxima-se de 80 % na região do infravermelho e que o Sol emite uma potência elevada de radiação nesta faixa de comprimento de onda, fica fácil entender a diferença.

4. Alguns experimentos com a célula - Geração de corrente e fotodetector

Com o intuito de mostrar possíveis aplicações destas células solares, buscamos usar fontes de luz do dia-a-dia para verificar a potência que as células poderiam disponibilizar. Na Fig. 4(a) apresentamos uma série de fontes de luz que foram usadas e as respectivas potências máximas fornecidas pela célula solar. Neste caso, como a maioria das fontes de luz são policromáticas e têm intensidades máximas muito diferentes, preocupamo-nos apenas em manter um parâmetro sob controle que foi a distância entre a célula e a fonte de luz. Ao optar por este procedimento fica algo difícil apresentar resultados quantitativos como os da seção anterior. Mas o intuito aqui é exatamente este: através de resultados qualitativos observar o funcionamento de uma célula solar.

Continuando com as experiências, tomemos como exemplo a fonte de luz “Sol”, da seção anterior: a célula conseguiu uma corrente máxima de 31 mW, o que é suficiente fazer girar um pequeno motor. Apesar disso, a corrente medida é bastante pequena para que a célula possa ser utilizada como fonte de alimentação em dispositivos eletrônicos; por outro lado, sendo basicamente uma bateria, nada nos impede de conectar vários transistores em série (para aumentar a voltagem) e em paralelo (para aumentar a corrente) para assim conseguirmos uma bateria solar. Ligando seis células numa configuração onde três conjuntos de duas células em série estão em paralelo, obtivemos $P_m \simeq 82$ mW para iluminação solar. Para pequenos projetos ou para demonstração do conceito de célula solar esta “bateria solar” é bastante útil.

⁴Estas energia e potência foram escolhidas em virtude do sistema disponível quando da realização do experimento. Obviamente a disponibilidade de outros valores seria de grande utilidade, mas o usado já é suficiente para explorar algumas das propriedades das células solares.

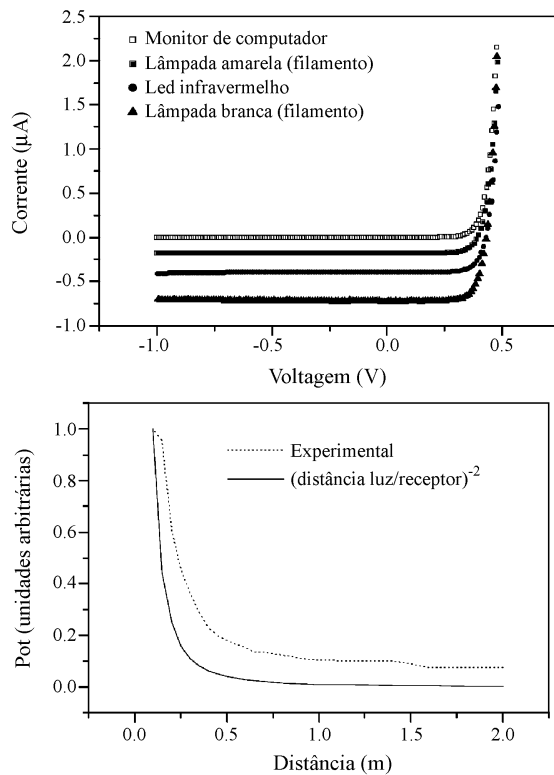


Figura 4 - (a) curvas de corrente por voltagem obtidas com diferentes fontes de iluminação; (b) dependência da potência luminosa com a distância da fonte de luz.

Outra característica interessante da nossa célula solar e talvez mais útil do ponto de vista de aplicação é a sua utilização como um detector de luz, já que para diferentes fontes utilizadas a célula apresentou correntes de resposta bastante diferentes e razoavelmente intensas para este fim. Como um exemplo, a célula solar construída pode servir para uma experiência bastante instrutiva, na qual podemos verificar que a potência de uma fonte luminosa decai com o inverso do quadrado da distância entre a fonte e ponto de observação [5], ou seja,

$$I \propto \frac{1}{d^2},$$

onde d é a distância entre fonte e ponto de observação. Na Fig. 4(b) estão os dados experimentais obtidos com nossa célula solar usada como detector. Usamos uma lâmpada incandescente comum (60 W) como fonte de luz e o experimento foi realizado em um ambiente escurecido. Note que os pontos experimentais seguem a tendência da curva teórica, representada na Fig. 4(b) como uma linha contínua. A não coincidência exata dos comportamentos teórico e experimental deve-se ao fato de que a lei do inverso do quadrado assume que a fonte de luz emite uniformemente em todas as direções, situação que pode não ser verdadeira para uma dada

fonte particular. Esta situação pode ser verificada experimentalmente usando-se um laser como fonte de luz.

Outro exemplo e que de fato foi um dos motivos que levou a este trabalho, foi a utilização deste transistor em nosso laboratório como um detector de luz para experimentos nos quais características elétricas de amostras semicondutoras estão sendo avaliadas em função da iluminação. A resposta fornecida por esta célula (tempo de resposta, intensidade de sinal e custo) deixou muitos outros detectores comerciais em clara desvantagem.

5. Conclusão

Neste trabalho, construímos uma célula solar “caseira”, utilizando um transistor de potência 2N3055, e observamos a resposta da célula quando submetida à diferentes iluminações, através de medidas de corrente por voltagem. Com isso, além de estudarmos o processo de conversão luz em corrente elétrica, pudemos também explorar experimentos simples utilizando a célula. É importante destacar que a pesquisa em células solares como uma fonte de energia mais limpa e inesgotável (pelo menos nos próximos bilhões de anos) deve ser incentivada em todo o planeta, principalmente em países tropicais como o nosso. Aliás, como disse Carl Sagan [6], “a vida na Terra ocorre quase que exclusivamente à luz solar. Os vegetais reúnem os fótons e convertem a energia solar em química. Os animais parasitam as plantas. A agricultura é simplesmente a colheita metódica da luz solar, utilizando plantas como intermediários forçados. Nós somos, quase todos, movidos a energia solar.” Porque não aplicar esta última idéia em todas as nossas atividades?

Referências

- [1] D.M. Chapin, C.S. Fuller, and G.L. Person, *J. Appl. Phys.* **25**, 676 (1954).
- [2] A.J. Chiquito, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **21**, 514 (1999).
- [3] S.M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices* (Wiley and Sons, New York, 1981).
- [4] S.M. Rezende, *A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos* (Editora da UFPe, Recife, 1996).
- [5] D. Halliday e R. Resnick, *Física 4* (Livros Técnicos e Científicos LTDA, Rio de Janeiro, 1990).
- [6] Carl Sagan, *Cosmos* (Francisco Alves Editora S.A., Rio de Janeiro, 1992).

FONTE MODULADA PARA LASER INFRAVERMELHO DE 1W DE POTÊNCIA

Silvelene A. Silva¹, Landulfo Silveira Jr.²

¹INPE/LAS, Av. dos Astronautas, 1758 – Jd. da Granja, S.J. Campos, silvelen@las.inpe.br

²UNIVAP/IP&D, Av. Shishima Hifumi, 2.911 - Urbanova, S.J. Campos, landulfo@univap.br

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade o desenvolvimento e montagem de um sistema de fonte modulada para laser no infravermelho com comprimento de onda de 808nm e potência de 1W, e uma modulação de frequência que varia de aproximadamente 10Hz á 3000Hz e com um ciclo de trabalho de 50% ou seja, um sinal modulado e quadrado; este sinal é obtido através do circuito VCO (voltage controlled oscillator), cuja frequência será resultado da tensão obtida na saída do amplificador "lock-in" sendo este interfaceado através da comunicação RS232 e ligado juntamente a um microcomputador; o software utilizado é o Visual Basic 4.5. Pretende-se nesse trabalho o envolvimento com estudo sobre os lasers tais como suas aplicações e suas características, e também a necessidade de conhecimento como desenvolvimento de fonte CC, VCO'S e Amplificador Operacional entre outros dispositivos da eletrônica analógica.

Palavras-chave: Laser, caracterização fotoacústica, chopper eletrônico, fonte modulada.

Área do Conhecimento: III - Engenharias

INTRODUÇÃO

Lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) têm tido um grande impacto nos mais importantes ramos da ciência: separação de isótopos, interrogação de novos materiais na escala de fentosegundos, resfriamentos de átomos, etc. Calcula-se que atualmente mais de um terço dos trabalhos científicos experimentais publicados nas áreas de física e química utilizem lasers. Também nas áreas tecnológicas os lasers são cada vez mais importantes: aplicações industriais como corte e solda, comunicações óticas, cirurgia a laser, memórias óticas e tecnologias emergentes como a óptica integrada [1].

O objetivo deste trabalho é desenvolver, montar e testar uma fonte modulada para laser de 808nm e 1W de potência para a utilização em experimentos de fotoacústica. O grupo TECAMB (Tecnologia Ambientais) do departamento LAS (Laboratório Associado de Sensores e Materiais) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais) vem desenvolvendo métodos de caracterização de materiais utilizando técnicas fotoacústicas com aplicação em sensores de parâmetros ambientais. O sistema mais conhecido e utilizado consiste em uma fonte de luz, modulador mecânico de radiação, fotocélula e um amplificador "lock-in". A proposta deste projeto consiste em melhorar todo esse sistema através de uma fonte de luz laser que possui características importantes como coerência, o que faz com que o feixe seja estreito, concentrado, monocromático e bastante intenso [2] e a substituição do modulador mecânico por

um modulador eletrônico que dá maior estabilidade as medidas.

Nesse sistema pode-se destacar o circuito VCO que gera o sinal e o circuito "driver" que se resume em uma fonte de alimentação para laser de corrente constante (FCC). O circuito estabiliza a corrente mantendo constante à potência do diodo laser (LD). Foi usado um amplificador operacional cuja vantagem é a precisão, pois utiliza uma tensão de referência numa das entradas. Além de monitorar a potência luminosa e a corrente, este circuito também funciona como uma chave rápida, que liga e desliga o laser num ciclo de trabalho de 50%, isto é quadrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Atualmente existe um sistema similar em funcionamento que possibilita as medidas e a aquisição de dados. Na figura 1 é mostrado um diagrama do sistema onde o funcionamento se dá através do microcomputador, comunicação RS232, lock-in, VCO, fonte 5V, driver e a fonte de luz laser.

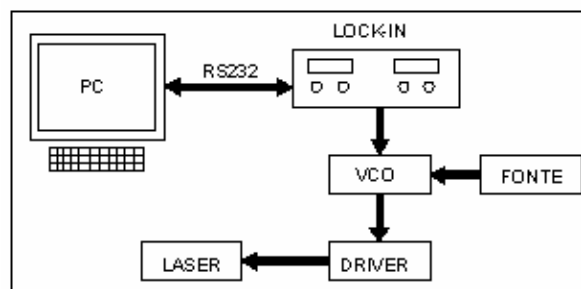


Figura1- Diagrama em blocos do sistema
Foi utilizado neste trabalho um microcomputador que, ligado ao amplificador

“lock-in” (modelo RS530) e interface através de uma comunicação RS232, através do programa Visual Basic 4.5, entra com um comando de determinada frequência e o amplificador “lock-in” transforma em uma certa tensão; essa tensão é inserida no pino 9 do circuito integrado conhecido também como PLL (phase – locked loop) da tecnologia CMOS 4046, cuja alimentação é de 5V; o circuito integrado tem por finalidade transformar a tensão que entra no pino 9 em frequência e recebe o nome de circuito de VCO “voltage controlled oscillator” [3], este circuito gera uma frequência, ou seja um sinal modulado com um ciclo de trabalho de 50%.

Também foi projetado um circuito de proteção para o laser, uma fonte de corrente constante [1], chamada de driver, este circuito também funciona como chave que atua ligando e desligando o laser. Neste circuito foi utilizado um amplificador operacional que tem por função garantir um ganho de corrente e juntamente a ele colocado o FD para monitorar a potência do laser.



Figura 2 – Fotodiodo laser com encapsulamento TO3

A figura 2 [4] mostra o laser que será utilizado no projeto, este laser é alimentado com uma tensão de 2V e uma corrente que não poderá ultrapassar 1,4A. Essa corrente que definirá a potência de operação e manterá sempre a uma potência em 1W. Na figura 3 é possível visualizar e entender um pouco mais através das curvas típicas de tensão versus corrente e sua curva espectral [4] que o denomina como infravermelho por trabalhar na região entre 718nm a 818 nm e o seu comprimento de onda central é de 808nm.

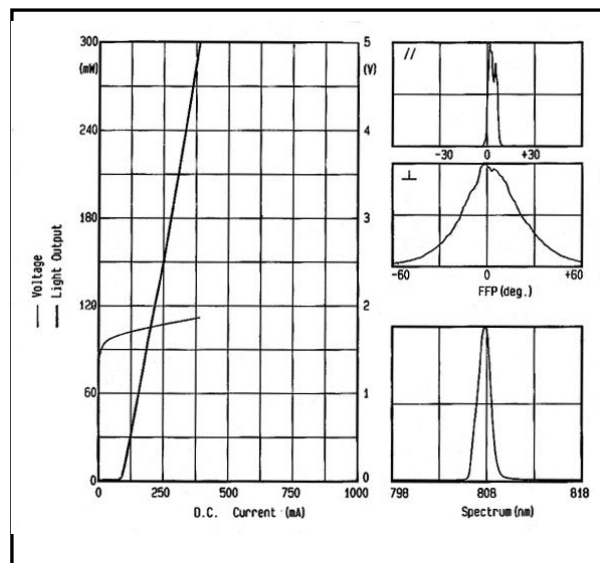


Figura 3 - Curvas característica do laser

Em caráter experimental esse sistema já está funcionando tanto para o uso do laser com uma potência maior cuja faixa espectral se encontra no infravermelho e comprimento de onda de 808nm e potência de 1W laser ou para o laser com uma potencia menor cuja faixa espectral se encontra no vermelho e comprimento de onda de 635nm e potência 40mW. Exigindo assim uma comutação no sinal aplicado e realizado através de um divisor de tensão.

RESULTADOS

Nos primeiros testes foi utilizado o laser vermelho com comprimento de onda de 635nm e com potência de 40mW, exigindo assim uma baixa corrente da fonte desenvolvida (aproximadamente de 140mA), após comprovação do bom funcionamento do circuito driver foi utilizado o laser infravermelho com comprimento de onda de 808nm e com potência de 1W só que agora com uma corrente 10% a mais que a anterior. Os testes feitos foram para observar o funcionamento do driver e também analisar o comportamento dos lasers em baixa e em alta frequência, através do programa Visual Basic 4.5 foi possível adquirir alguns dados tais como: tensão de VCO e frequência de oscilação.

A partir dos dados da tabela 1 foi possível traçar a curva tensão versus frequência, conforme mostra a figura 3, nota-se que em frequência baixa não é linear, passando a ser linear a partir de aproximadamente 200Hz.

Tabela 1 – Tensão de VCO e frequência de oscilação para o laser de 808nm e 1W.

Tensão(V)	Frequência (Hz)	Tensão(V)	Frequência (Hz)
0,30	1,507	1,20	1812
0,40	12,1	1,30	2057
0,50	69,2	1,40	2303
0,60	232	1,50	2535
0,70	478	1,60	2778
0,80	748	1,70	3015
0,90	1025	1,80	3260
1	1289	1,90	3478
1,10	1548	2	3715

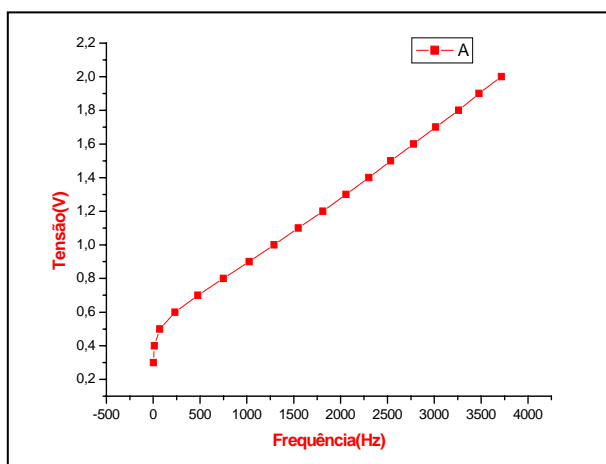


Figura 4 – Gráfico tensão de VCO versus frequência de oscilação

Além dos dados obtidos acima, também houve a necessidade de observar as formas de onda medidas em cima do laser de potência de 1W para verificar o seu desempenho e se realmente este responde ao circuito driver nas diversas escalas de frequência. As formas de onda foram obtidas através de um osciloscópio TDS (fabricante Tektronix) onde pode-se analisar o sinal quadrado em cima do laser e o outro sinal obtido em cima da fotocélula em baixa frequência conforme mostra a figura 4.

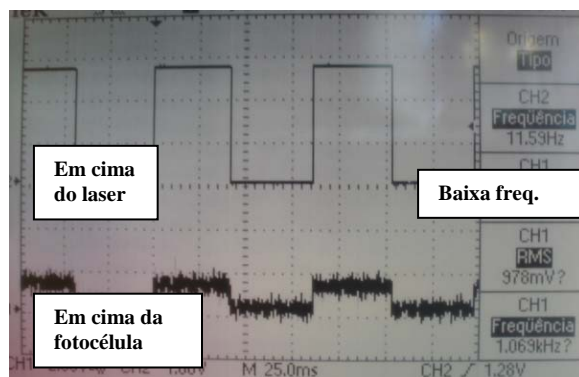


Figura 5 – Forma de onda em baixa frequência

Em alta frequência a forma de onda medida não é uma onda quadrada como é em baixa frequência porém em cima da fotocélula esta praticamente tende a ter a mesma forma de onda do sinal de baixa frequência conforme pode ser observada na figura 5.

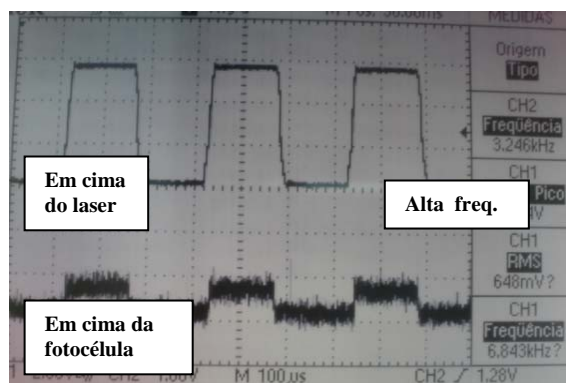


Figura 6 - Forma de onda em alta frequência

CONCLUSÃO

Conclui-se que a forma de onda em cima da fotocélula realmente distingue que os lasers liga e desliga tanto em frequência baixa quanto em alta, esse resultado é tanto para o laser de 1W quanto para o de 40mW independentemente da potência utilizada. O sistema foi testado e aprovado não somente para a utilização em fotoacústica como também para qualquer outro sistema ou desenvolvimento que necessite de um sinal modulado podendo ser utilizado em outras técnicas de caracterização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. CATUNDA, A. PATAIA, A. ROMERO, J.SARTORI e L. A. O. NUNES. Laser de semiconductor visível: um instrumento de baixo custo. São carlos, SP, Brasil, 1997. Disponível no site http://www.sbfisica.org.br/rbef/Vol20/Num3/v20_2_30.pdf acessado em 10/02/2005.

[2] MARCOS TADEU T. PACHECO, Light amplifier by stimulate emission radiation, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2004.

[3] DON LANCASTER. CMOS cookbook, Indianópolis USA, Howard W.Sams e Co., Inc n.1,1977.

[4] LASERMATE, Disponível no site:
<http://www.lasermate.com/highpowerinfrareddioes.htm> acessado em 15/06/2005.

CONSTRUÇÃO MANUAL DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO:

Prof.: Ilton Luiz Barbacena

Primeiros passos:

1-Compre todos os componentes, prestando atenção em TODAS as especificações do projeto.

Por exemplo:

- CAPACITORES - capacitância e tensão máxima suportada;
- RESISTORES - resistência, potência dissipada e corrente máxima suportada;
- TRANSFORMADOR - tensões de entrada e saída e corrente máxima suportada;
- ETC.

As lojas da Rua Sta Efigênia (SP), são recomendadas (mas não esqueça de conferir os componentes antes de deixar a loja). Se estiver fora de São Paulo, veja as lojas de eletrônica de sua cidade.

2-Compre uma folha de papel dividida em décimos de polegada.

Essa folha pode ser encontrada nas lojas de eletrônica citadas acima. Mas, se não encontrar, utilize papel milimetrado. Lembre-se que as distâncias das *perninhas* dos circuitos integrados geralmente são múltiplos de 0,1” (décimo de polegadas).

Uma grandeza muito utilizada nesta área é MILS (100 MILS = 0,1 POLEGADAS = distância entre cada furo dos Prot-Boards comerciais).

3-Adquira uma boa quantidade de solução de Percloroeto de Ferro (250g).

Substância ácida que pode ser encontrada nas lojas acima citadas.

4-Compre papel vegetal (75mm).

5-Compre uma caneta de retroprojektor e/ou decalques ALFAC (encontrados nas mesmas lojas acima).

6-Compre a placa de cobre virgem ou de fenolite (O tamanho depende do seu projeto).

Próximos passos:

1-Cole com papel contact a folha dividida em décimos de polegada em uma prancheta ou algo parecido.

Assim você poderá utilizar sempre a mesma folha (régua de décimos de polegadas).

2-Pegue dois pedaços de papel vegetal um pouco maiores do que o tamanho estimado da placa final.

Grampeie um no outro na parte de cima e cole ou fixe com durex o papel de baixo na prancheta, deixando o vegetal de cima livre, como se fosse uma página. Assim você terá uma folha inferior fixa e uma superior móvel, ambas em cima da folha dividida em décimos de polegada (ou milimetrada).

3-Comece a "copiar" o esquema para o papel vegetal.

Faça da seguinte maneira:

- Desenhe as "ilhas" ou "pads" (loais onde entrarão pontos de solda ou furos da placa onde estarão os "pés" dos componentes) e o desenho da projeção dos componentes no papel vegetal de Baixo (Figura 1);
- Copie apenas os PADS para o vegetal de cima;
- No vegetal de cima, desenhe as trilhas ou ligações entre os Pads de acordo com o seu projeto (Figura 2);

- No final, você terá, no papel vegetal de Baixo, um esboço da aparência final da placa com seus componentes e, no de Cima, o desenho das trilhas com os PADS. A Figura 3, mostra a superposição dos vegetais, agora, invertendo-se as posições (Observe que o papel que estava em cima agora está de baixo).

Veja o exemplo:

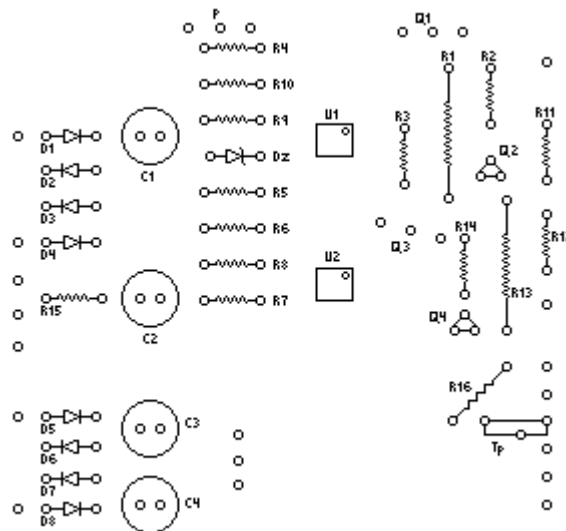


Figura 1 – Papel vegetal de Baixo: Localização dos PADS e desenho da projeção dos componentes na placa.

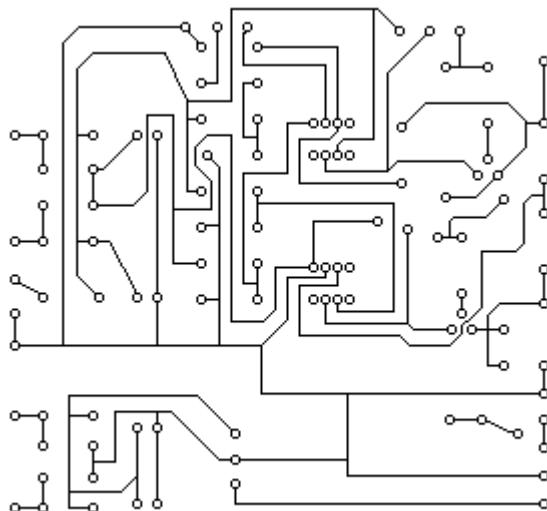


Figura 2 – Papel vegetal de cima: Apenas os PADS e trilhas (já elaboradas)

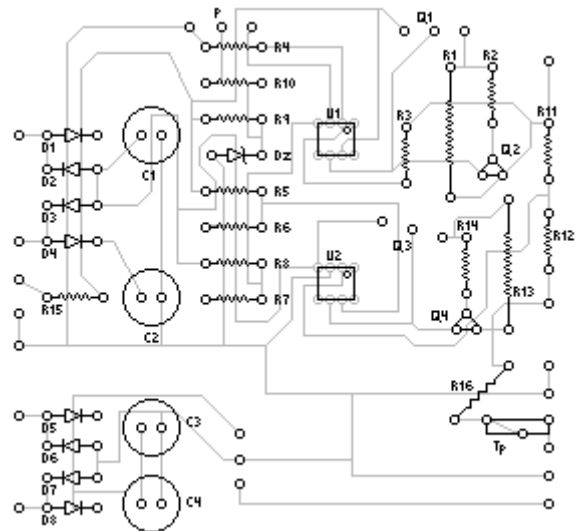


Figura 3 – Ambos os vegetais, colados, com as trilhas por baixo;

4-Passando para a placa:

- Descole o papel vegetal da prancheta e desgrampeie.;
- A montagem mostrada na Figura 3, fazendo coincidir os PADs, serve para conferir as ligações de seu projeto;
- Apenas o papel vegetal com as trilhas e PADs (**Figura 2**), **será usado para a confecção da PCI**;
- Esse desenho das trilhas que você possui é de uma visão através da placa. Por isso, vire o papel e, com papel carbono, transfira-o para a placa virgem de cobre (antes passe um bom-bril na placa para retirar a sujeira).
Recordando:
 - Coloque um carbono sobre o cobre e o papel vegetal da Figura 2 sobre o carbono. Em seguida refaça todos os traços sobre o papel vegetal (na verdade, nas costas do papel vegetal). Ao final, deverá ser reproduzida a figura 2 sobre o cobre;
 - Aos iniciantes, recomendamos tirar uma xerox antes de iniciar este item;
- Agora, se você vai usar caneta de retroprojektor, pode começar a cobrir as trilhas já existentes no cobre feita com carbono (passe a caneta uma vez, deixe secar e depois passe de novo). Se estiver usando os ALFACs (decalques) , aplique com cuidado sobre as trilhas e ilhas. Mas lembre-se de deixar a trilha do terra um pouco mais grossa;
- Para os circuitos integrados, como o 741, aconselhamos que use os ALFACs de qualquer jeito, pois fica mais fácil para cobrir as ilhas das "perninhas". Mas, se preferir e conseguir usar a caneta, vá em frente.

5-Preparo final da PCI:

- A placa que você tem agora está quase pronta para o uso.
- Mergulhe agora a placa em um recipiente plástico com **Ácido Percloro** suficiente para cobri-la.
- O ácido irá atacar a placa e retirar o seu cobre. O cobre coberto pela tinta ou pelos decalques não será atacado. De tempos em tempos, se a placa não estiver na vertical, sacuda-a um pouco para que o cobre caia.
- Após cerca de 10 minutos (ou quando os dois lados da placa estiverem com a mesma cor) retire-a do ácido e passe bastante água corrente para evitar que alguns resíduos do ácido permaneçam.

Observações Finais:

1. **O tempo de 10 minutos é para Percloro novo. O tempo vai aumentando de acordo com o envelhecimento do mesmo.**
2. **NÃO JOGUE O ÁCIDO NA TUBULAÇÃO DE ÁGUAS E ESGOTOS, POIS ELE IRÁ CORROER O ENCANAMENTO!**
3. Recoloque o ácido no frasco (ele pode ser reaproveitado).
4. Verifique se as trilhas não foram corroídas (se foram, você perceberá).
5. Passe um bom-bril com água para retirar a tinta (ou os decalques).

6-Etapa de Soldagem e testes da PCI

1. Comece perfurando todos os PADs e colocando o ferro de solda para esquentar;
2. Coloque os componentes e faça todas as soldas, observando os componentes polarizados;
3. Testa eletronicamente a placa;
4. Ao final proteja as trilhas de cobre com tinta sintética ou 'breu';
5. Opcionalmente as trilhas de cobre poderão ser protegidas com estanho (colocar solda em todo os percursos das trilhas);

Agora você já está preparando para utilizar um software para elaboração de PCI's. Estes programas já imprimem no papel vegetal ou transparência a sua PCI invertida ou espelhada. Entre eles podemos destacar o TANGO, WINBOARD, ORCAD, PROTEL, etc.

Boa Sorte!

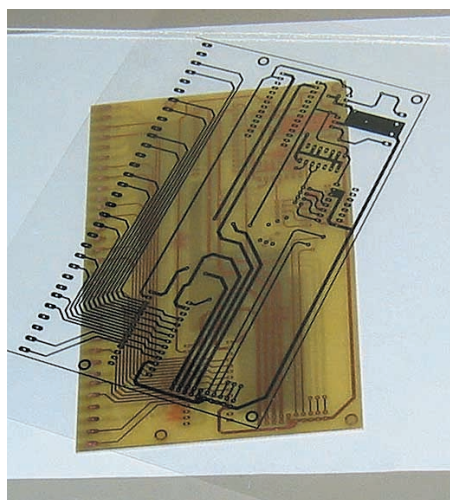
mmb@cefetpb.br
barbacen@elogica.com.br

Como fabricar placas de circuito impresso

Mas muito cuidado com os produtos químicos!!!

Por Michael Möge

Hoje em dia, não é difícil desenhar uma placa de circuito impresso (PCI), utilizando um computador que esteja a correr um programa apropriado. Mas depois segue-se o trabalho desagradável e algo complicado de gravar o desenho no cobre da placa.



Algumas lojas de componentes electrónicos vendem kits para gravar placa de circuito impresso, mas normalmente trata-se de artigos caros e que por vezes são difíceis de utilizar. As dificuldades começam logo com a impressão do desenho do circuito, uma vez que mesmo que se utilize uma impressora a laser para transferir o desenho para uma folha de película transparente (acetato), como as que se utilizam nos retroprojectores, nunca se obtém uma imagem suficientemente opaca. Normalmente é necessário sobrepor pelo menos duas folhas de acetato com a respectiva imagem, para esta poder ser transferida em boas condições para a placa de cobre.

É claro que a solução ideal é utilizar uma boa impressora para imprimir o desenho numa folha de papel normal e depois fotografar a imagem à escala de 1:1, criando um filme positivo ou um negativo, mas essa técnica exige um pequeno laboratório fotográfico.

A gravação da imagem na superfície de cobre da placa, por meio de um banho de perclorato de ferro, ou de persulfato de amónio, exige bastante paciência, o banho deve ser aquecido e é necessário trabalhar num local onde os salpicos não estraguem o mobiliário. Além disso, quem pretender obter bons resultados sem se envenenar a si próprio, tem de saber bem o que esta a fazer. É necessário não esquecer, que a manipulação de produtos químicos como estes requer cuidados especiais.

Preparação da matriz

Utilizando uma impressora de jacto de tinta e uma folha de película transparente,

é possível obter uma matriz de boa qualidade. Estas folhas transparentes são vendidas no comércio, mas existem umas para impressoras a laser e outras para as impressoras de jacto de tinta. A firma Conrad Electronics vende transparências para jacto de tinta com a referência OH3, que têm fornecido bons resultados. Estas folhas são bastante finas, mas possuem uma folha de papel colada na parte de trás para facilitar o seu deslocamento no interior da impressora.

Quando a imagem não fica suficientemente opaca, existe a solução de voltar a fazer nova impressão da imagem por cima da anterior. É claro que a folha tem de ser introduzida na impressora exactamente na mesma posição, para as duas imagens coincidirem. A experiência mostra, que mesmo as pistas finas com 0,2 mm de espessura, podem ser sobrepostas com apreciável precisão. Depois de fazer a primeira impressão, convém secar muito bem

Regulação da impressora

Papel:	Regular para papel de qualidade fotográfica e não transparência Ink-Jet
Cor da impressão:	Preta
Definições do utilizador:	Impressão fina (720 dpi), sem meios tons (<i>halftone</i>); luminosidade = -25%; contraste = +25%



Figura 1. Película transparente vendida pela Conrad Electronics, que possui uma folha de papel colada na traseira a destacar depois de executado o trabalho de impressão.

a transparência com um secador de cabelo, antes de executar a segunda impressão. Finalmente deixe-a secar durante 24 horas antes de a utilizar na fabricação da placa de circuito impresso.

Sensibilização do cobre da placa

Para transferir a imagem contida na folha transparente para o cobre da placa, é necessário que esta tenha sido pulverizada com um verniz fotosensível. No comércio vendem-se placas já sensibilizadas, mas também é possível fazer esse trabalho em casa desde que adquira um spray fotosensível como por exemplo o Positiv 20 da Kontakt. Note que também existem sprays negativos e nesse caso a imagem da transparência tem de ser invertida. Note que os desenhos publicados na Elektor destinam-se a ser usados com sensibilizador positivo. Leia bem as instruções de utilização do produto que adquirir, pois variam um tanto de marca para marca. De qualquer forma, é um trabalho que tem de ser feito num local mal iluminado, como é lógico.

Exposição e revelação

Depois de ter a placa de cobre sensibilizada, chegou a altura de transferir a imagem da película transparente para o cobre. Esse trabalho pode ser feito, utilizando uma lâmpada que gere radiação ultravioleta, como acontece com as lâmpadas de vapor de mercúrio. Estas lâmpadas são muito usadas pelas pessoas para se bronzear e existem no comércio em várias potências. Note que é perigoso para a vista se olhar directamente para a lâmpada, pelo que convém ter muito cuidado, ou usar óculos escuros de protecção. A exposição da pele à radiação UV durante muito tempo, digamos mais de 15 minutos, tam-

bém pode ser perigoso, principalmente se a lâmpada possuir grande potência, ou se estiver colocada muito perto.

Voltando ao nosso trabalho, o tempo de exposição da placa depende da potência da lâmpada utilizada, da distância desta à placa e ainda da espessura do material fotosensível depositado na placa, também designado *photoresist* em inglês. Por exemplo, para uma lâmpada de vapor de mercúrio de 300 W, colocada a uma distância de 40 cm da placa coberta por vidro acrílico, o tempo de exposição pode variar entre 4 e 8 minutos. Para uma lâmpada de 1000 W pode ser da ordem de um minuto. É claro que também pode usar a luz do Sol, que aliás fornece excelentes resultados. Nesse caso convém fazer a exposição mais ou menos à mesma hora do dia e sem nuvens, pois a intensidade da radiação UV varia bastante ao longo do dia e é tanto menor quanto mais espessas forem as nuvens. Entre as dez horas e as catorze horas, uma exposição entre um e dois minutos é normalmente suficiente.

O melhor é determinar experimentalmente qual é o tempo de exposição mais apropriado, para as condições em que está a trabalhar. Crie um pequeno desenho de placa de circuito impresso formado por várias pistas de cobre paralelas e finas (0,2 mm por exemplo). Depois, encoste a respectiva transparência numa placa já sensibilizada, aplicando um vidro por cima. Em seguida, por meio de um pedaço de cartolina preta, tape parte do circuito numa direcção perpendicular às pistas e vá fazendo várias exposições (por exemplo de 20 segundos) recuando um pouco a cartolina de cada vez. Assim obterá zonas de 20, 40, 60 e 80 segundos de exposição, por exemplo. Depois de revelar e proceder à destruição do cobre poderá determinar, qual é o tempo de exposição que fornece melhor resultado.

Depois da exposição à radiação UV, segue-se a revelação para retirar o verniz que foi destruído pela radiação UV no caso de uma sensibilização positiva, ou para retirar o verniz onde não incidiu radiação UV, no caso de sensibilização negativa. Embora existam no mercado produtos reveladores, a solução mais barata é utilizar um banho de hidróxido de sódio (Na OH), ou soda cáustica como também é vulgarmente chamada. Aqueça um pouco (sem ferver) um litro de água e dissolva 7 gramas de soda cáustica. As placas podem ser reveladas com a solução um pouco quente, ou à temperatura ambiente e este trabalho deve ser feito numa zona onde não incida luz directa (do Sol ou artificial), porque a camada sensibilizadora ainda continua a ser sensível à radiação UV.

Depois de ter introduzido a placa no banho de soda cáustica, vá agitando lenta-



Figura 2. Exposição de uma placa com um aparelho de bronzear.

mente o recipiente de plástico que contém o banho e passado algum tempo verá começar a aparecer o desenho do circuito. O tempo de revelação é variável, dependendo da espessura da camada de verniz e do tempo de exposição à luz UV, mas se for superior a 2 minutos é sinal de que a exposição não foi suficiente. O banho fica colorido de verde-azulado, mas pode ser guardado num frasco hermético para ser novamente utilizado no futuro. No entanto, como se trata de um produto químico barato, o melhor é utilizar sempre um banho fresco.

Destruição do cobre

Na produção industrial de placas de circuito impresso utiliza-se uma mistura de dois produtos químicos para destruir a superfície de cobre que está a mais, deixando apenas as pistas e pastilhas onde está depositada a camada de verniz fotosensível, a qual é resistente ao ataque químico. Esta mistura, que é formada por 200 partes de ácido clorídrico (H Cl) a 35%, também conhecido como ácido muriático; 30 partes de peróxido de hidrogénio (H₂ O₂) a 30%, também conhecido como água oxigenada e 770 partes de água (H₂ O),

Conselhos de um profissional

Os comentários que se seguem foram traduzidos de um fórum em língua alemã existente no site <http://www.batronix.com>, mas se fizer uma busca na Internet encontrará muitos outros sites onde pode obter informação adicional sobre este assunto (por exemplo, www.p-m-services.co.uk/Tech_fpane.htm).

Exposição

A radiação ultravioleta do tipo 'C' (UV-C), muito utilizada nos apagadores de memórias EPROM, não serve para o nosso trabalho, mas as lâmpadas utilizadas nos bronzeadores servem perfeitamente. Coloque a placa sensibilizada no tampo de uma mesa, depois a matriz transparente por cima e finalmente uma placa de vidro para garantir uma aderência perfeita da matriz com a placa. Note que o vidro normal é bastante menos transparente à radiação UV do que o vidro cristal, ou o vidro acrílico.

Ligue a lâmpada de UV, situada a uma distância da ordem de 50 centímetros e após cerca de 2 minutos a exposição está completa.

Nós fazemos a exposição das nossas placas com luz superactínea (UV-A), que possui um comprimento de onda superior a 400 nm.

A radiação UV-B nunca é usada na aparelhagem de exposição profissional. O tipo de radiação UV pode ser deduzido do código da lâmpada.

Por exemplo, as lâmpadas fluorescentes TL20W 05 são boas.

No nosso aparelho de insolação Hellas utilizam-se seis destas lâmpadas em cada face da placa para criar uma fonte luminosa com 120 W.

O tempo de exposição mínimo é de 2 minutos no caso das nossas placas.

As lâmpadas com o código 08 e 09, muito utilizadas nos aparelhos bronzeadores, também servem perfeitamente. Para se obter uma iluminação uniforme da placa, a distância entre as várias lâmpadas deve ser inferior à que separa as lâmpadas da placa, ou então devem usar-se reflectores.

As lâmpadas "Nitraphot" também são boas, mas necessitam de algum tempo para aquecer, pois só alcançam o rendimento luminoso óptimo ao fim de cerca de 15 minutos. Além disso, o tempo de exposição é maior (7 minutos ou mais nas nossas placas). Note que quanto maior é o tempo de exposição maiores são os desvios possíveis devido às diferentes qualidades da matriz. Em termos absolutos, 10% de 7 minutos é muito mais do que 10% de 2 minutos.

As lâmpadas utilizadas em trabalhos de construção possuem grande potência e podem fornecer menores tempos de exposição, mas o calor gerado na matriz e na placa pode criar problemas. A vantagem de uma fonte luminosa pontual, é ser possível obter pistas de cobre muito finas e situadas muito perto umas das outras. A melhor fonte luminosa pontual é o Sol, mas a radiação UV varia fortemente com a existência de nuvens, com a hora do dia e com as estações do ano, devido à diferente inclinação da órbita da Terra em volta do Sol. Em Maio uma exposição solar de 5 minutos dá bons resultados e é grátis, mas se estiver a chover terá de esperar até Novembro para a placa estar completamente exposta. Em termos gerais podemos dizer que é preferível dar exposição a mais do que a menos, principalmente se a sensibilização da placa e o desenho da matriz tiverem sido bem feitos. Um pouco de exposição a mais pode ser compensado com um tempo de revelação menor.

Para quem é iniciado nestas lides, existe sempre o truque de fazer várias exposições seguidas na mesma matriz, utilizando um pedaço de plástico preto e grosso. Depois revele a placa durante 40 segundos e veja qual é o tempo de exposição correspondente à zona da placa que está completamente revelada. Utilize então este tempo para fazer o trabalho final.

Revelação

As placas Bungard gostam de um revelador potente (13 a 30 gramas de hidróxido de sódio (soda cáustica) diluídas num litro de água), mas por razões de segurança é melhor utilizá-la à temperatura ambiente (e não se esqueça, um salpico que atinja os olhos pode significar cegueira permanente).

O revelador não utilizado pode ser conservado num frasco de plástico bem tapado, pois a solução perde a eficácia se absorver o dióxido de carbono existente no ar atmosférico. Retire do frasco apenas a quantidade que vai utilizar e findo o trabalho, dilua o banho em bastante água e deite-o no esgoto. Uma solução de 1% de soda cáustica é equivalente ao produto que sai de uma máquina de lavar louça. O tempo de revelação permite compensar até certo ponto um tempo

de exposição excessivo. Se a exposição for demasiado longa, mesmo que se utilize uma curta revelação, o verniz existente sobre as pistas e pastilhas também é em parte retirado, facto que criará pequenas zonas sem cobre quando for feita a operação de gravação. Se a exposição for demasiado curta, a revelação não conseguirá retirar completamente o verniz fotosensível e essas áreas tomam uma cor entre o castanho-avermelhado e o violeta. Esta cor indica que o banho seguinte não conseguirá atacar o cobre.

Para fazer um teste, passe a placa por água e mergulhe-a por momentos no banho de ataque do cobre. O cobre das áreas bem reveladas muda imediatamente de cor e se isso não acontecer, é porque a exposição foi demasiado curta.

Como as placas sensibilizadas não são propriamente baratas, pode tentar remediar esta situação. Lave a placa com água corrente, seque-a completamente usando por exemplo um secador de cabelo e volte a fazer nova exposição durante cerca de 20% do tempo que utilizou anteriormente.

É claro que agora tem de fazer a exposição da área total da placa, sem colocar a matriz com o desenho do circuito, uma vez que não conseguiria coloca-la exactamente na mesma posição. Execute nova revelação e faça novo teste com o banho de ataque do cobre.

Esta técnica vai permitir que 80% do verniz das pistas e pastilhas de cobre permaneça no seu lugar, sendo ainda suficiente para as proteger do banho de ataque. Entretanto, a segunda exposição e revelação deverá conseguir comer completamente o verniz que ainda existia nas restantes áreas.

A propósito convém referir, que as nossas placas suportam razoavelmente bem múltiplas exposições, facto que pode ser útil para gravar a disposição dos componentes na outra face da placa. Por outro lado, os leitores que sabem o que significa o termo "gradação do contraste" poderão expor e revelar as nossas placas utilizando uma fotocópia do desenho do circuito feita em papel normal. O truque está em fazer uma exposição relativamente curta e utilizar um banho revelador duas vezes mais forte do que é usual.

Remoção do cobre

Os problemas que podem surgir durante a operação de destruição do cobre são principalmente devidos a erros de exposição. Por razões de protecção ambiental, para atacar o cobre não devem ser usados banhos de persulfato de amónio ou de sódio. Aliás, o rendimento é fraco e estes produtos decompõem-se facilmente. Por outro lado, o resultado é catastrófico no que respeita à espessura mínima das pistas que é possível obter e o custo de eliminação dos banhos usados é dez vezes mais elevado do que o dos banhos de percloro de ferro. A única razão porque são usados, deve-se ao facto de não produzirem bolhas gasosas como acontece com o percloro de ferro ($FeCl_3$), podendo utilizar-se uma cuvete de menor profundidade.

Utilizando um banho de percloro de ferro a 45°C, são necessários pelos menos 90 segundos para tratar uma placa com camada de cobre de 35 µm, numa máquina de pulverização. O tempo máximo é da ordem de 180 segundos e no final o banho deve ser deitado fora. Nessa altura o banho conterá 5 a 10 vezes mais cobre do que um banho de persulfato de sódio. Além disso, permite criar pistas com 0,1 mm de espessura em dez vezes menos tempo, utilizando a técnica de pulverização e não faz buracos na roupa do utilizador. O limpa nódoas RX3 pode retirar facilmente as nódoas de ferrugem. Só existe um banho mais eficaz, mas que por razões de segurança só deve ser usado em trabalhos profissionais. Trata-se da mistura de ácido clorídrico (ácido muriático) e peróxido de hidrogénio (água oxigenada).

Não armazene um saco de soda cáustica (Na OH) aberto, pois este produto químico atrai a humidade do ar como se fosse um íman e forma uma pasta extremamente agressiva. A melhor solução é adquirir soda cáustica suficiente para um litro de água, fazer o banho e armazená-lo num frasco bem fechado. O percloro de ferro na forma granulada ou em pérolas, é menos perigoso do que a soda cáustica. Sem pretender ser demasiado optimista, em minha opinião a solução aquosa de revelador preparada com concentração para uso imediato, é relativamente inofensiva. O leitor já alguma vez leu atentamente os avisos feitos nos blocos de detergente utilizados nas máquinas de lavar? E quem utiliza o revelador SENO 4007 que pretende ser amigo do ambiente? E o leitor sabe que o cloreto de ferro é usado em grandes quantidades no tratamento da água para distribuição doméstica! Mas é claro que não contém cobre!!!

Dieter Bungard
Assistência Técnica
Bungard Elektronik
<http://www.bungard.de>



Figura 3. Material necessário para a remoção do cobre.

emite gases muito tóxicos e um cheiro característico, sendo pouco apropriada para ser manipulada numa habitação. Ao fim de alguns minutos o cobre em excesso está todo removido. É necessário observar cuidadosamente o processo, porque se a placa estiver demasiado tempo no banho, as próprias pistas de cobre começam a ser corroídas lateralmente e se forem muito estreitas poderão ficar interrompidas.

Os amadores de electrónica normalmente utilizam um banho menos perigoso formado por 500 gramas de perclorato de ferro diluído num litro de água e ligeiramente aquecido (45°C) para actuar mais rapidamente. Outros usam ácido nítrico a 65% diluído numa quantidade de água igual.

Qualquer que seja o produto químico utilizado, é muito importante trabalhar num compartimento bem arejado e mesmo assim procure não respirar os gases que se libertam. Também convém usar óculos de protecção, porque um salpico mal dirigido pode resultar na sua cegueira permanente.

Quando a placa é colocada no banho, as áreas de cobre onde a revelação retirou o verniz protector ficam imediatamente avermelhadas e o ataque inicia-se libertando pequenas bolhas de gases. A placa deve ser ligeiramente movimentada durante todo o processo, para acelerar a destruição do cobre. O banho vai ficando azul-verdeado, ou acastanhado conforme o produto químico utilizado.

Se estiver a utilizar um banho de ácido muriático e água oxigenada e notar que o

ataque se está a processar lentamente, rejuvenesça-o adicionando mais um pouco de água oxigenada. Por outro lado, se as áreas de cobre avermelhadas começarem a ficar esbranquiçadas, adicione um pouco de ácido muriático.

Depois do ataque do cobre estar terminado, lave muito bem a placa em água corrente. Chegou agora a altura de retirar a camada de verniz fotosensível que se encontra por cima das pistas e pastilhas de cobre. Esse trabalho pode ser feito com acetona ou diluente de tintas. Outra solução que dá bons resultados é retirar o verniz com palha de aço fina, como a que é utilizada nas cozinhas para limpar as panelas. Mesmo que utilize a acetona ou o diluente, termine o traba-

lho com a palha de aço, para retirar a fina camada de óxido de cobre, que entretanto se desenvolveu durante as várias operações.

Depois de ter feito os furos para os terminais dos componentes e para evitar que o cobre oxide em contacto com o ar, convém pulverizar a placa com um verniz protector apropriado, dos que se vendem nas casas de electrónica. Este tipo de spray, além de fornecer protecção antioxidante, até facilita as operações de soldadura dos componentes.

Um banho de perclorato de ferro pode ser conservado para futura utilização, armazenando-o num frasco bem fechado. No caso de um banho de ácido muriático/água oxigenada, o frasco não pode ficar hermeticamente fechado porque a decomposição da água oxigenada faz aumentar a pressão interior. O melhor é usar um frasco de vidro dotado com uma rolha de vidro. Quando utilizar novamente o banho, ele deve ser reactivado pela adição de água oxigenada.

Químicos usados

Nunca é demais referir, que os produtos químicos utilizados no fabrico de placas de circuito impresso são perigosos para o utilizador e para o meio ambiente.

Embora os produtos químicos que referimos sejam utilizados com grande diluição, mesmo assim podem provocar danos irreparáveis. Para começar, devem ser guardados em locais não acessíveis a crianças e durante o seu manuseamento, há que utilizar luvas e óculos de protec-

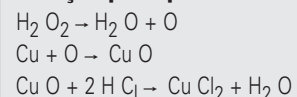
ção. Os salpicos na roupa e na pele podem rapidamente ser anulados por meio de lavagem com água, mas um salpico que atinja os olhos pode ter consequências irreparáveis como a cegueira permanente. Por outro lado, durante as reacções químicas desenvolvem-se gases e alguns são potencialmente venenosos. Por essa razão, o utilizador não deve comer, beber, ou fumar e o trabalho deve ser executado num compartimento bem ventilado e evitando respirar os gases quando observa de perto o ataque químico.

Se utilizar a mistura de ácido muriático com água oxigenada, depois de ter terminado o trabalho e se não pretender guardar o banho para futura utilização, deixe-o descansar durante alguns dias para a água oxigenada se decompor naturalmente em água e oxigénio. Nessa altura, o banho apenas conterà cloreto de cobre, ácido clorídrico (muriático) e água e poderá ser deitado para o esgoto. É claro que numa instalação industrial onde é fabricada grande quantidade de placas de circuito impresso, os banhos têm de ser neutralizados, ou enviados para um depósito de resíduos perigosos. O leitor não deve tentar neutralizar o ácido utilizando hidróxido de sódio (soda cáustica), pois dá origem a uma reacção violenta e portanto algo perigosa, onde é produzida água salgada, resíduos de cobre e gases variados.

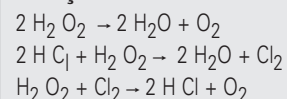
Todos os produtos químicos referidos são facilmente adquiridos no comércio local e as placas de cobre já sensibilizadas também se vendem em casa de componentes electrónicos. Se tiver dificuldade, tente os sites das casas que vendem através da Internet. Procure no site da Elektor (Componentes difíceis) os endereços onde deve procurar. (020099)

Reacções químicas com banho de ácido muriático/água oxigenada

Reacção principal útil:



Reacções secundárias:



Lentes

Definição de Lente:

São materiais homogêneos e transparentes, em que pelo menos uma face deve apresentar uma curvatura.

Tipos de Lentes:

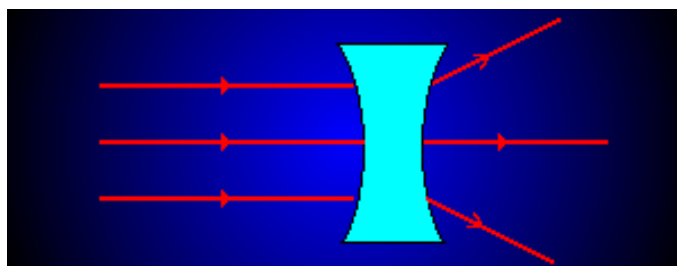
Podemos dois tipos principais de lentes: as convexas e as côncavas.

As Lentes Côncavas:

Uma característica que podemos usar para identificá-las, é que possuem as bordas (*extremidades*) mais grossas, que a parte mediana. Podemos dar nome a essas lentes dependendo do tipo de superfície, como na figura abaixo:

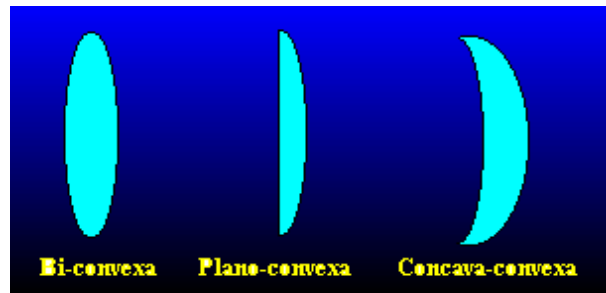


Uma outra característica destes lentes são a capacidade que elas têm em divergir os raios de luz, quando $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$.

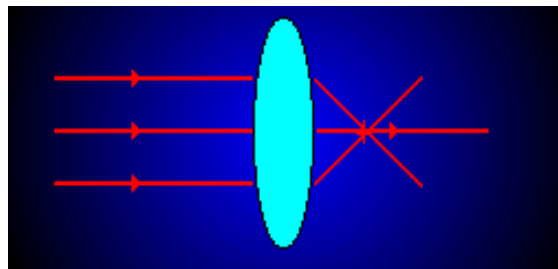


As Lentes Convexas:

São lentes de bordas delgadas (*finas*). Podem ter a seguinte nomenclatura:

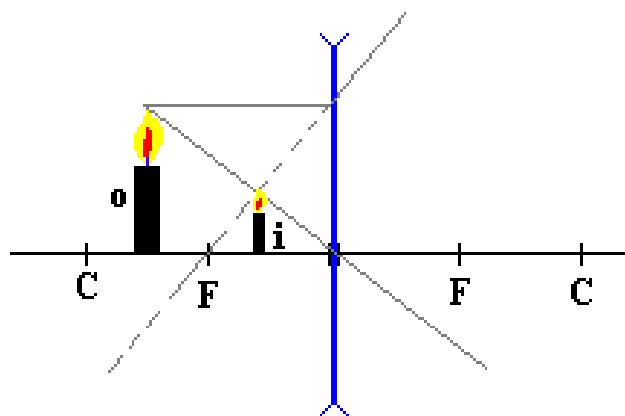


São lentes que convergem os raios de luz.



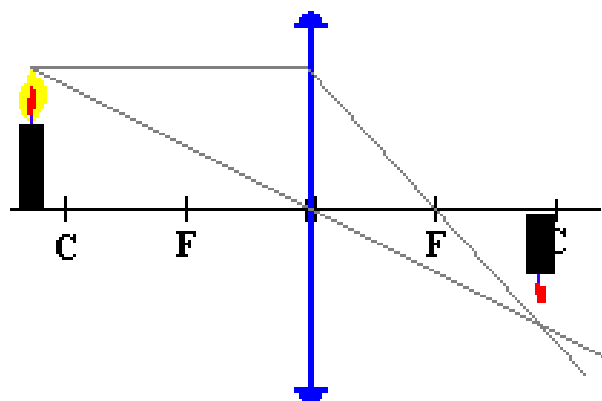
Imagens de um objecto frente às Lentes:

- A imagem de uma lente divergente é sempre *virtual, direita e menor* que o objecto.

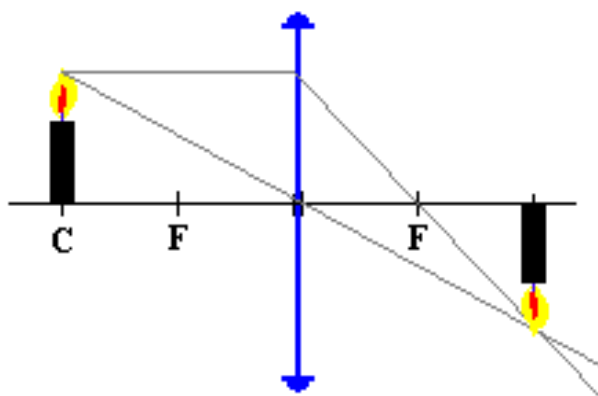


Mas para as lentes convergentes, depende da posição do objecto em relação a lente.

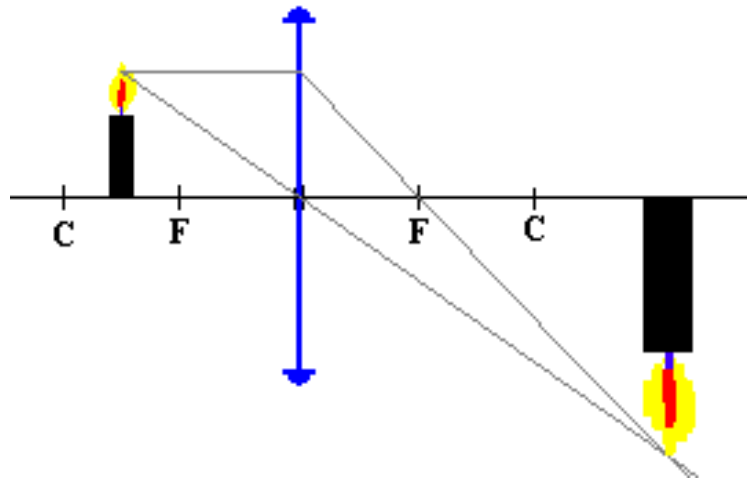
- Quando o objecto está além do C, temos uma imagem *real, menor e invertida*.



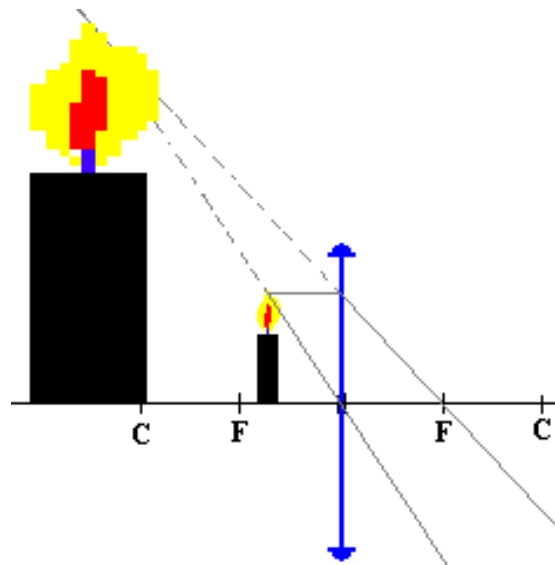
- Quando o objecto está no C, temos uma imagem, *real, igual e invertida*.



- Quando o objecto está no entre C e F, temos uma imagem, *real, invertida e maior*.



- Quando o objecto está no F a imagem é imprópria.
- Quando o objecto está entre o F e o centro óptico, a imagem é *virtual, direita e maior*.



Estudo Analítico das Lentes

Dadas a posição e a altura de um objecto relativamente a uma lente delgada, a posição e a altura da imagem podem ser determinadas analiticamente. Para isso adoptaremos o seguinte sistema de coordenadas:

- Origem – centro óptico da lente
- Eixo das abcissas – direcção do eixo principal e sentido contrário ao da luz incidente para os objectos e a favor do da luz incidente para as imagens

- Eixo das coordenadas – direcção da perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente

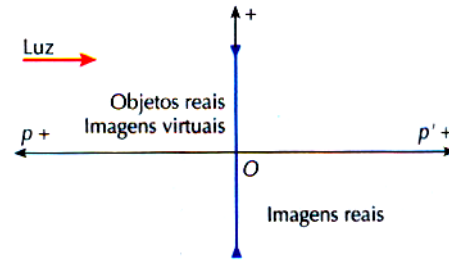
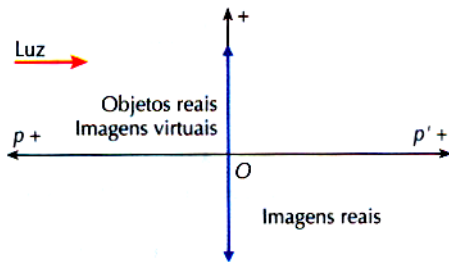
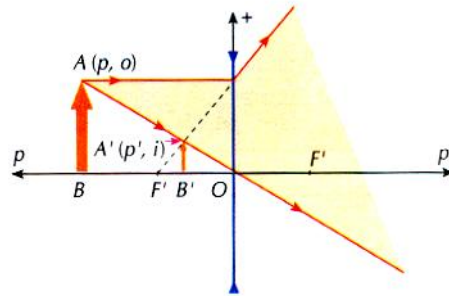
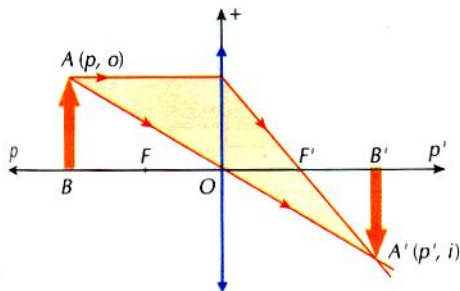


Imagem real: $p' > 0$

Objecto real: $p > 0$

Imagem virtual: $p' < 0$



i e o têm o mesmo sinal – imagem direita em relação ao objecto.

i e o têm sinais contrários – imagem invertida em relação ao objecto.

Distância focal e vergência das lentes

A abcissa f do foco principal, objecto ou imagem, é denominada distância focal da lente.

A distância focal é positiva nas lentes convergentes e negativa nas lentes divergentes.

Lente convergente: $f > 0$

Lente divergente: $f < 0$

Os pontos anti principais C e C' têm abcissa $2f$, sendo, portanto, positiva nas lentes convergentes e negativa nas lentes divergentes.

Vergência D de uma lente é, por definição, o inverso da sua distância focal, apresentando o mesmo sinal que esta:

$$D = \frac{1}{f}$$

Lente convergente: $D > 0$

Lente divergente: $D < 0$

A unidade mais comum de vergência é o inverso do metro (m^{-1}), denominada dioptria d

Fórmula das Lentes

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (\text{Edmund Halley})$$

n_2 é o índice de refração da lente

n_1 é o índice de refração do meio que envolve a lente

R_1 e R_2 são os raios de curvatura

Face convexa → raio positivo

Face côncava → raio negativo

Quando uma das faces da lente é plana, o seu raio pode ser considerado infinitamente

grande, e a fórmula anterior toma a forma: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \frac{1}{R}$

Equação dos pontos conjugados

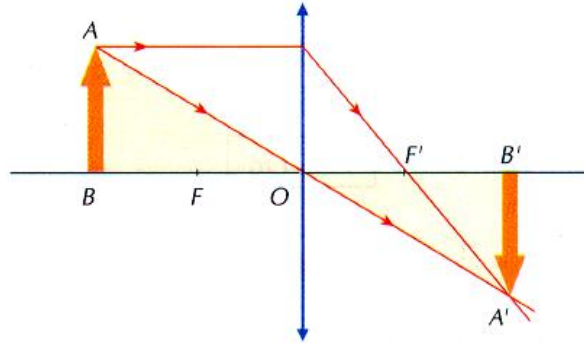
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Aumento transversal

$$A = \frac{i}{o} \quad \text{Indica quantas vezes a imagem é maior ou menor que o objecto}$$

O aumento transversal A pode ser expresso em função das abcissas p e p' de objecto e imagem.

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Leftrightarrow A = -\frac{p'}{p}$$



$A > 0$

i e o têm o mesmo sinal \rightarrow imagem direita

p e p' têm sinais opostos \rightarrow sendo o objecto real ($p > 0$), a imagem é virtual ($p' < 0$)

$A < 0$

i e o têm sinais opostos \rightarrow imagem invertida

p e p' têm o mesmo sinal \rightarrow sendo o objecto real ($p > 0$), a imagem é real ($p' > 0$)

Nota: Não vamos considerar os casos em que o objecto é virtual, uma vez que a sua ocorrência só se dá quando há associação de lentes ou de lentes e outros sistemas ópticos.