

## DISPOSITIVOS ELETROLUMINESCENTES ORGÂNICOS: PROTÓTIPO DE CONTADOR DIGITAL

Aluno: **Rafael José Pacca Brazil Sadok de Sá**  
Orientador: **Marco Cremona**

### Introdução

O surgimento dos dispositivos optoeletrônicos conhecidos como OLEDs (*Organic Light Emitting Diodes*), que são diodos orgânicos emissores de luz [1], despertou o interesse das indústrias, pois os dispositivos apresentam possibilidade de transparência, flexibilidade e maior ângulo de visão, comparado com as outras tecnologias de displays presentes atualmente no mercado. A optoeletrônica tem sido um grande foco de investimento tecnológico e aliado a isso, os fabricantes de displays vêm um crescente mercado de dispositivos com menor consumo de energia, menor custo e maior leveza.

Sabemos que atualmente urge a necessidade de políticas para reduzir o impacto ambiental causado pelo desenvolvimento tecnológico, também no que diz respeito à produção e consumo energético. A introdução de um display que proporciona uma considerável redução no consumo energético se apresenta como uma importante ferramenta em longo prazo para reduzir este consumo. Vale lembrar que os OLEDs além de serem utilizados como displays possuem outras aplicações, dentre elas a de iluminação elétrica. Então, diversas pesquisas vêm sendo realizadas em âmbito internacional, visando o desenvolvimento tecnológico dos dispositivos OLEDs para melhor adequá-los às necessidades do mercado mundial.

Os OLEDs são feitos de heteroestruturas, como mostrado na figura 1. Estas são camadas de filmes-finos de materiais orgânicos e eletrodos inorgânicos, depositadas sobre um substrato. Entre os eletrodos positivo e negativo deste “sanduíche” é aplicada uma diferença de potencial que faz com que as cargas positivas e negativas injetadas recombinem-se na camada emissiva e originem a eletroluminescência. O Laboratório de Optoeletrônica Molecular (LOEM), dirigido pelo professor Marco Cremona do Departamento de Física da PUC-Rio, vem desenvolvendo, nos últimos anos, trabalhos relacionados à produção e caracterização dos dispositivos OLEDs[2].

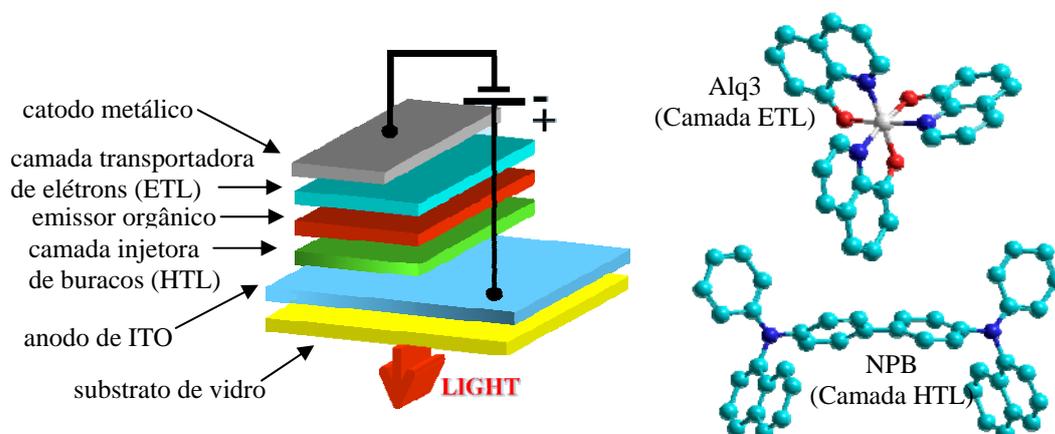


Figura 1 – Estrutura típica de um OLED e moléculas utilizadas

## Objetivo do projeto de IC

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de contador digital, inclusive o circuito eletrônico de comando, que opera com um display de OLED realizado a partir de substratos de óxido de índio dopados com estanho (ITO), utilizados como eletrodos para os OLEDs. Nos objetivos do projeto está, também, o controle e a otimização de filmes de óxidos condutores transparentes (TCO), em particular de ITO e de AZO (óxido de zinco dopado com alumínio). Estes filmes são utilizados como eletrodos na construção dos OLEDs.

Um objetivo paralelo é dar apoio aos projetos de pesquisa em andamento no laboratório, como deposição de filmes finos de materiais orgânicos para realização de OLEDs; medidas de eletroluminescência das amostras produzidas; medidas de espessura dos filmes depositados.

## Metodologia e Resultados

Um circuito eletrônico foi montado de forma a fazer um contador digital utilizando um OLED com sete segmentos, formando o número oito. Partindo-se do circuito contador comum, que possui uma lógica que gera números de zero a nove, contando em modo crescente ou decrescente e com velocidade variável, utilizado em displays de sete segmentos comerciais (feitos com LED), montou-se a lógica básica de funcionamento. A partir disto, o projeto partiu para a etapa da criação de uma potência apropriada, a ser utilizado no display de OLED.

A etapa da potencia foi realizada de acordo com a necessidade dos dispositivos fabricados no laboratório, que operam com tensões variando de 2 a 24 volts. Com isso a voltagem final do circuito é variável entre 5 e 30 volts. O esquema do circuito pode ser visto na figura 2 abaixo.

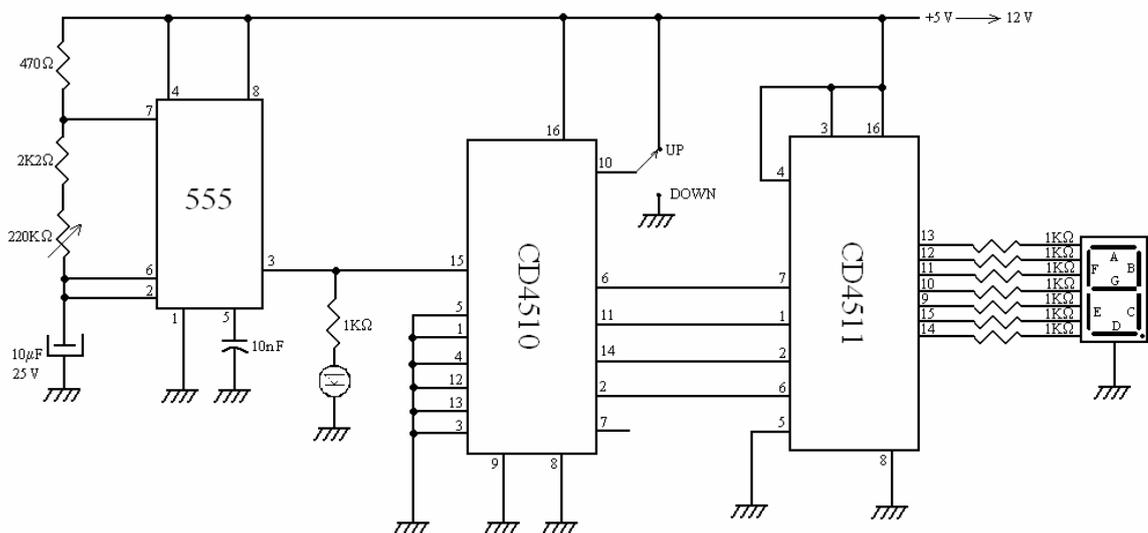


Figura 2 – Esquema do circuito lógico desenvolvido

A etapa seguinte foi a montagem final dos circuitos. Para tal, foi desenhado o circuito utilizando um software específico (PCB), para que fosse impresso. Esta etapa foi importante para poder compactar o circuito, tendo em vista que a partir do protótipo na protoboard não é possível ter noção da dimensão exata do circuito. A partir do circuito impresso, uma placa de fenolite com uma camada de cobre por cima, utilizada para circuitos, foi desenhada com um

marcador permanente. Posteriormente a placa foi corroída, de forma a tirar todo o cobre não utilizado na marcação das trilhas do circuito. Os elementos do circuito foram então montados e soldados.

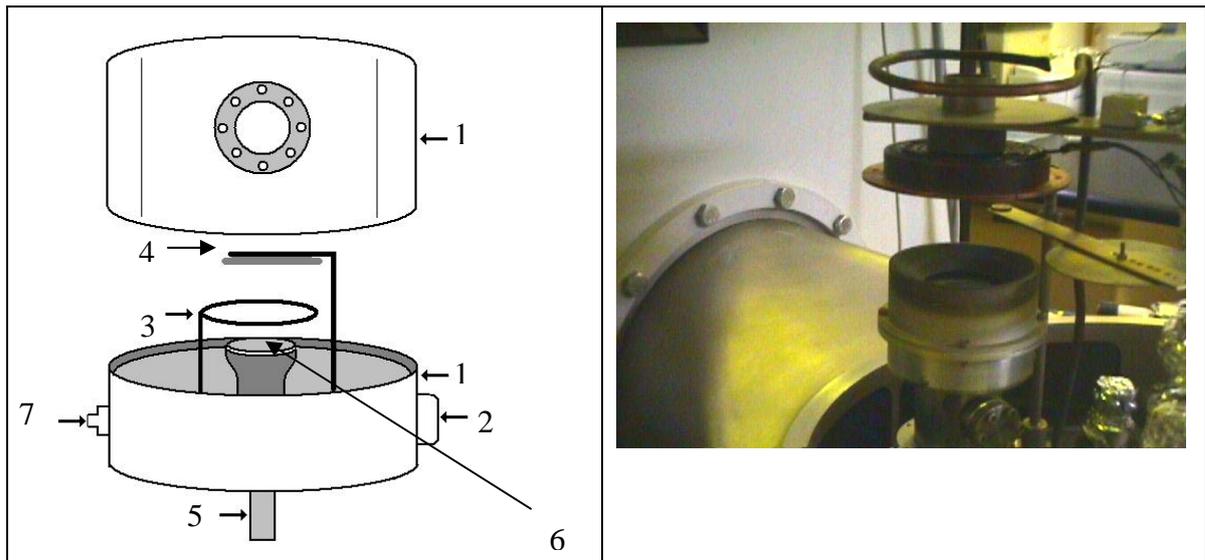
O circuito já montado e pronto foi aparafusado então dentro de uma caixa, figura 3, onde foram colocados controles para a frequência de mudança do dígito e tensão de alimentação, além da chave para ligar e desligar, e do local para encaixar o dispositivo OLED. O circuito possui a característica de poder funcionar acoplado a uma fonte externa ou utilizando pilhas de 12V, havendo também uma chave que nos permite fazer esta seleção.



Figura 3 – Caixa final montada e contador em ação

Podemos observar na figura 1, que o OLED possui dois eletrodos em sua estrutura. Um deles deve ser transparente, de forma a permitir a difusão da luminosidade do dispositivo, ainda assim servindo como eletrodo. Tendo realizado o circuito eletrônico e o domínio da deposição de OLEDs utilizando substratos comerciais de ITO, começamos um trabalho sistemático de produção no nosso laboratório de filmes de ITO e AZO para serem utilizados como eletrodos transparentes do dispositivo OLED. O objetivo destas deposições foi a otimização dos parâmetros físicos para obter filmes finos destes materiais que permitissem a fabricação do dispositivo OLED a partir do simples vidro como substrato. Além disto o estudo permitiria a produção de um TOLED (*Transparent OLED*), ou seja, de um dispositivo onde tanto o catodo que o anodo são feitos com materiais condutores transparentes.

O método de deposição utilizado para produzir estes filmes finos é o *RF Magnetron Sputtering* disponível no LOEM. Esta técnica consiste no transporte de átomos e moléculas ejetadas de um alvo para um substrato afixado acima do mesmo. A ejeção é provocada pelo bombardeamento iônico da superfície do alvo. O esquema do aparelho utilizado para as deposições pode ser visto nas figuras 4 e 5.



**Figuras 4 e 5 – Esquema de sistema de RF Sputtering – 1 – Campânula; 2 – Saída para bomba de vácuo; 3 – Chuveirinho; 4 – Porta-substrato; 5 – Canhão de plasma; 6 – Alvo; 7 – Saída para medidor de pressão**

As deposições são realizadas em alto vácuo, utilizando uma atmosfera predominante de argônio. A câmara é evacuada por algumas horas para atingir pressões baixas da ordem de  $10^{-6}$  torr, de forma a eliminar outros gases que não o utilizado na deposição. Após o vácuo ter sido estabelecido o gás nobre argônio é injetado na câmara aumentando a pressão pra ordem de  $10^{-3}$  torr. Com isso aplica-se uma diferença de potencial entre os suportes do substrato e do alvo com a matéria prima a ser depositada. Devido à diferença de potencial, o gás argônio é ionizado, formando um plasma. Os íons do plasma, acelerados pela diferença de potencial, incidem então sobre o alvo arrancando átomos e moléculas. Os átomos e moléculas formam um “vapor” de material, que é então depositado no substrato. O sistema ainda possui um ímã permanente, de forma a confinar o plasma na região do alvo, otimizando o processo de deposição.

Para o estudo de otimização dos filmes de ITO e AZO, foram utilizados diferentes parâmetros nas deposições, de forma a se obter o melhor resultado. Como os filmes de TCO são utilizados como eletrodos do dispositivo, eles devem apresentar baixa resistividade, portanto a qualidade do filme pode ser determinada pela resistividade, espessura, mobilidade e concentração dos portadores.

Para a medição de espessura foi utilizado, em colaboração com o LABSEM do CETUC da PUC-Rio, um perfilômetro. Seu funcionamento consiste em uma agulha arrastada sobre o filme, que registra a menor variação de altura. Um gráfico é desenhado com as variações em função da posição, e através dele é possível determinar a variação de altura do substrato para o filme. As medidas de resistividade, transparência, mobilidade e concentração de portadores foram realizadas no Dimat – INMETRO/RJ.

A estratégia utilizada para a otimização dos parâmetros foi a seguinte:

Realizar diversas deposições utilizando uma pressão de argônio arbitrária variando a potência para cada deposição a fim de encontrar para qual potência o filme apresentou melhor qualidade, de acordo com os critérios e métodos descritos anteriormente. O tempo de deposição influencia na espessura final do filme. Para potências mais baixas o tempo de deposição foi aumentado, de forma a que não fosse obtido um filme demasiadamente fino, o que poderia causar incorreções nas medidas. Para os filmes de AZO e ITO, respectivamente, podem ser observados os seguintes dados na tabela 1.

Tabela 1: Depósitos de ITO e AZO

Nº	Potência (W)	Pressão (torr)	Espessura (nm)	Resistividade ( $\Omega$ cm)	Concentração de portadores ( $\text{cm}^{-3}$ )	Mobilidade ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Temperatura de deposição ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>AZO</b>							
I	20	$3,1 \times 10^{-3}$	33	4,11	$1,48 \times 10^{19}$	0,1	ambiente
II	40		110	$2,1 \times 10^5$	$5,08 \times 10^{13}$	0,5	ambiente
III	80		225	$2,6 \times 10^4$	$1,96 \times 10^{12}$	122	ambiente
IV	120		320	$3,9 \times 10^5$	$1,24 \times 10^{12}$	13	ambiente
V	20		30	$4,21 \times 10^{-2}$	$4,62 \times 10^{20}$	0,32	250
<b>ITO</b>							
i	10	$2,0 \times 10^{-3}$	37	$5,76 \times 10^{-4}$	$8,78 \times 10^{20}$	12	ambiente
ii	20		130	$5,84 \times 10^{-4}$	$8,28 \times 10^{20}$	13,7	ambiente
iii	40		250	$1,15 \times 10^{-3}$	$3,51 \times 10^{20}$	15,7	ambiente
iv	80		500	$1,26 \times 10^{-2}$	$0,58 \times 10^{20}$	8,5	ambiente

Pudemos verificar que os filmes com menor resistividade obtidos foram os depositados a menores potências. Com isso os dois filmes escolhidos para dar continuidade ao trabalho de caracterização foram os filmes I de AZO, considerando somente os filmes depositados na temperatura ambiente, e ii de ITO, sendo que as resistividades dos filmes de ITO depositados com 10 e 20 watts ficaram muito próximas. Assim sendo optamos por utilizar como parâmetros o filme ii, que apresentou maior espessura e mobilidade.

### Conclusão

No caso dos filmes de ITO obtivemos resultados excelentes. O melhor ITO produzido no nosso sistema possui uma transparência no visível acima de 85% e valores de resistividade ( $5,8 \times 10^{-4} \Omega$  cm) e de concentração de portadores ( $8,28 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ) comparáveis com o melhor ITO comercial (Asahi, Japão).

No caso dos filmes de AZO, obtivemos uma qualidade de filme muito boa, porém ainda estamos na fase de otimização, pois os filmes obtidos não possuem as características necessárias para a produção de dispositivos OLEDs, embora possam servir para outras aplicações. Terminada a análise da pressão ótima para a deposição dos filmes podemos partir para outros métodos de otimização do filme. Em caráter de teste, nota-se que a deposição V da tabela 1 obteve uma resistividade bem inferior às demais deposições. Isso se deve ao fato que ela foi realizada com tratamento térmico, o que pode otimizar o filmes. Com isso uma continuação do trabalho é a otimização dos filmes, utilizando o controle térmico do substrato durante a deposição.

O passo seguinte tendo verificado a melhor potência de deposição é o de determinar qual pressão pode otimizar estes resultados. Para tal são feitas duas deposições, uma com a pressão acima da pressão utilizada como base, e outra deposição feita com um valor abaixo da pressão de base. Através da análise destes resultados será possível descobrir se o filme tende a melhorar suas características através do aumento da pressão de referência ou da diminuição da mesma.

Uma vez encontrados os parâmetros ideais para os filmes de AZO será possível a fabricação de um circuito contador digital em OLEDs utilizando estes filmes de ITO e AZO.

### Referências

- [1] C.W. Tang, S.A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 913
- [2] W.G. Quirino, C. Legnani, P.P. Lima, S. A. Junior, O L. Malta, M. Cremona, Thin Solid Films, 23-27, 494, 2005.