

## 5

### Conclusões e perspectivas

No desenvolvimento desta dissertação foi possível produzir e caracterizar dispositivos orgânicos emissores de luz invertidos e transparentes (IOLEDs e TOLEDs respectivamente). Nestes dispositivos, filmes finos de ITO foram utilizados como eletrodo superior transparente. As deposições do ITO foram realizadas via pulverização catódica assistida por radiofrequência sobre camadas orgânicas (CuPC) e metálicas (Al). Os parâmetros de deposição do filme de ITO foram escolhidos de forma tal a não danificar em alto grau as camadas do dispositivo.

Filmes de ITO de  $100 \pm 5$  nm foram depositados com pressão constante de  $3,5 \cdot 10^{-5}$  Pa, numa faixa de baixas potências: 8, 10, 12, 14 e 20W (densidades de potência de 0,39, 0,49, 0,59, 0,69 e 0,98 W cm<sup>-2</sup> respectivamente). Medidas elétricas e ópticas foram utilizadas para determinar as características dos filmes de ITO. Encontrou-se que a resistência de folha não varia fortemente neste intervalo de potências, no entanto, em 12 e 14W observou-se um aumento na resistência do filme. Isto possivelmente é devido a que períodos de tempo longos de deposição ( $\simeq 3000$ s), com a potência suficiente, podem levar à contaminação do filme com impurezas (outros materiais adsorvidos nas paredes da câmara de deposição, que também são depositados). Valores de resistência de folha em torno de  $105 \Omega/\square$  foram obtidos. As medidas de transmitância e absorção óptica, revelaram que a potência de deposição (no intervalo utilizado neste trabalho) não influi na transmitância nem o valor da energia da banda proibida (gap) dos filmes de ITO.

Foram fabricados dispositivos invertidos IOLEDs sobre vidro, utilizando filmes de ITO com as características anteriormente descritas. A arquitetura utilizada foi: Al(120nm) / Alq<sub>3</sub>(50nm) /  $\beta$ NPB(25nm) / CuPC(12nm) / ITO(100nm). Medidas de eletroluminescência, densidade de corrente vs. tensão e de luminância vs. tensão, são levadas em conta na a caracterização dos dispositivos. Nos espectros de eletroluminescência (EL), observou-se a independência entre a potência de deposição do ITO e o comprimento de onda

de emissão dos IOLEDs. Todos os dispositivos possuem um pico de emissão em 520 nm. Com os espectros de EL, foi possível quantificar o dano gerado nas camadas do dispositivo no processo de sputtering. Isto é realizado levando em conta: a intensidade e largura média do pico de emissão, e o ruído apresentado nas curvas. Esta análise, revelou a necessidade de um compromisso entre o tempo e a potência de deposição do ITO na fabricação dos IOLEDs. A energia de chegada dos átomos de ITO é proporcional à potência de sputtering, o que impossibilita a utilização de altas potências. No entanto, empregar baixa potência também é prejudicial, pois implica tempos longos de exposição ao plasma. Constatou-se que as potências utilizadas, 14 e 20W, possuem a melhor relação entre o tempo e a potência de deposição. Os dispositivos fabricados com 14 e 20W, também apresentaram os melhores comportamentos nas curva de densidade de corrente em função tensão (J-V). Com o dispositivo de 20W conseguiu-se obter um valor máximo de luminância de 800 cd/m<sup>2</sup> para uma tensão de operação de 25 V. Com as curvas J-V é possível inferir sobre os principais mecanismos de injeção e transporte dos IOLEDs. Os dispositivos apresentaram três regiões distintas de transporte de cargas: nas duas primeiras, de 0 a 2 e de 5 a 10V,  $m = 0$ , caracterizando uma condução ôhmica, para tensões maiores a 10V, observa-se uma terceira região com  $m = 7$  caracterizada por uma condução limitado pela presença de armadilhas. No intervalo de 0 a 2V observou-se que os IOLEDs apresentaram um processo de cura no qual a corrente aumenta linearmente até 2V e em seguida diminui. Este comportamento sugere um aumento na resistência causado pela desativação de caminhos de condução local na passagem de corrente. Isto, indica uma interface ITO/CuPC não uniforme, na qual, se apresenta variações locais na distância entre os eletrodos. Imagens da seção transversal da bicamada ITO/CuPC obtidas por Feixe de Íons Focalizados (FIB), comprovaram que a interface apresenta claramente uma ondulação, que indica regiões de penetração (de até 9 nm) dos átomos de ITO na camada orgânica.

Nenhum dos dispositivos IOLEDs fabricados conseguiu obter as mesmas características apresentadas por um dispositivo convencional com os mesmos componentes. No entanto, comprovou-se que otimizando a arquitetura é possível aumentar a eficiência dos dispositivos. Para este fim, foi inserida uma camada de LiF entre a camada de Al e Alq<sub>3</sub>. Este dispositivo apresentou características elétricas similares às apresentadas num dispositivo convencional. Também foram fabricados satisfatoriamente, dispositivos IOLEDs sobre substratos de Si. Estes IOLEDs apresentaram as mesmas características que os dispositivos crescidos sobre vidro. Além

dos dispositivos crescido sobre Si e vidro, realizou-se tentativas de produzir dispositivos sobre papel (photo paper - brilliant glossy da Canson), no entanto, não foi possível conseguir um funcionamento estável, pois pela temperatura de operação, o papel se queima. Para o funcionamento deste dispositivo, precisa-se gerar um sistema de dissipação de calor.

Dispositivos transparentes (TOLEDs) também foram produzidos. Para estes, utilizou-se um filme fino de Al (com alto grau de transparência) como camada protetora no processo de sputtering. A bicamada Al(5-10nm)/ITO(100nm), injeta elétrons eficientemente no dispositivo. Na fabricação dos dispositivos, utilizou-se uma arquitetura:  $ITO_{comercial}(160nm) / \beta NPB(25nm) / Alq_3(50nm) / Al(t \text{ nm}) / ITO_{P=20W}(100nm)$ . Nestes, o filme de ITO sempre foi depositado a 20 W e a espessura do filme de Al variou-se entre 5 e 10 nm. Os filmes de Al, e a bicamada Al/ITO foram estudadas, pois nas primeiras tentativas de produção dos TOLEDs, se apresentaram dispositivos em aparente curto circuito. Imagens de AFM e MEV revelaram uniformidade na superfície e ausência de buracos na extensão dos filmes de Al. No entanto, se destaca o aumento do tamanho do grão. As análises das imagens indicam que o motivo do curto nos TOLEDs pode estar relacionado com a taxa de deposição do filme de Al. Altas taxas de deposição, produzem filmes com superfície mais rugosa. A rugosidade da superfície de um eletrodo num dispositivo, leva à geração de campos elétricos não uniformes e em consequência a curtos. As características morfológicas da superfície do eletrodo Al/ITO, pode gerar variações locais na distância entre os eletrodos, levando a diferenças na intensidade de campo elétrico. Como no caso dos IOLEDs, durante processo de "cura", o dispositivo desativa caminhos de condução local, para se produzir condução uniforme por toda a extensão do dispositivo. Pelo anterior, para a produção de TOLEDs o filme de Al tem que ser depositado de preferência a uma taxa de  $0,9 \pm 0,1 \text{ \AA/s}$ , visando a obtenção de filmes mais homogêneos.

Medidas de eletroluminescência (EL), densidade de corrente em função da tensão e de luminância em função tensão, foram utilizadas na caracterização dos TOLEDs. Espectros de EL da emissão por ambas as faces foram obtidos. Observou-se que pico do espectro da luz emitida pelo eletrodo Al/ITO, deslocase para o vermelho em torno de 10 nm em comparação à luz emitida pelo eletrodo de ITO. Isto é devido à filtragem da luz efetuada pelo filme de Al. As curvas J-V apresentaram duas regiões de transporte definidas. A primeira, é definida por uma condução de corrente limitada por carga espacial com  $m=1$  (para os dispositivos com filme de Al de  $7$  e  $10 \pm 1$  nm). Já para a segunda região de transporte, encontrou-se um aumento na dependência da lei

de potências conforme aumenta a espessura do filme de Al. Valores de  $m = 6$ , 7 e 9 foram obtidos para dispositivos fabricados com filmes de Al de 5, 7 e  $10 \pm 1$  nm respectivamente. O valor de  $m$  varia pelas qualidades de injeção do cátodo. Contatos com características pobres de injeção podem levar a desvios significativos do comportamento do regime de condução limitado pela presença de armadilhas.

Para a continuidade desta linha de pesquisa, pode-se sugerir como trabalhos futuros:

- Otimização da arquitetura dos dispositivos IOLEDs e TOLEDs, visando a produção de dispositivos eficientes.
- Produção de dispositivos MF-TOLED (metal free TOLED), dispositivos sem a presença de camadas metálicas.
- Produção de dispositivos SOLEDs (stacked OLEDs), dispositivos compostos de vários TOLEDs em seqüência.