

Monografia: Flexible OLED Displays

Suelen Goularte de Carvalho

MONOGRAFIA SOBRE
FLEXIBLE OLED DISPLAYS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA DISCIPLINA DE
COMPUTAÇÃO MÓVEL

Professor: Dr. Alfredo Goldman vel Lejbman
Monitores: Antonio Deusany de Carvalho Junior
Gilmar Rocha de Oliveira Dias

São Paulo, 27 Junho de 2014

Lista de Figuras

3.1	Tela de Plasma	5
3.2	Camadas de uma Tela de Plasma	6
3.3	Camadas de uma Tela de LCD	7
3.4	Camadas de uma Tela de LED	8
4.1	Uma tela flexível OLED	9
4.2	Criador da tecnologia OLED Ching Tang	10
4.3	Criador da tecnologia OLED Steven Van Slyke	10
4.4	Componentes OLED	11
4.5	Processo de geração de luz em telas OLED	12
4.6	Samsung Galaxy Round	13
4.7	Dispositivo Móvel com bateria Flexível	14
4.8	Protótipo da Samsung com tela flexível	14
4.9	Televisão com Tela Flexível	15

Capítulo 1

Introdução

Tecnologias móveis estão hoje presentes no cotidiano da maior parte das pessoas. Pesquisas apontam que dentre os meses de Maio e Junho de 2014 o Google bateu o recorde de dispositivos ativos rodando Android, contanto com 1 bilhão e a Apple, no mesmo ano, contava com 800 milhões de dispositivos ativos [Mar].

É inevitável que mais e mais vejamos trabalhos acadêmicos, pesquisas e outros ao redor desta área. Desta forma, este trabalho visa apresetar em mais detalhes os componentes e funcionamento de uma tecnologia emergente sobre telas que vem evoluindo com bastante velocidade e que acredita-se fazer parte da maioria dos dispositivos móveis do futuro, esta tecnologia chama-se Organic Light Emmitting Diode (OLED).

Nos capítulos a seguir faremos um *overview* sobre o passado das tecnologias usadas nas telas de eletroeletrônicos e devices usados no cotidiano como televisores e *smartphones*. abordaremos então sobre a tecnologia OLED e o que já temos no mercado a venda para o consumidor com esta tecnologia. Por último abordaremos sobre algumas ideias que pesquisadores e inovadores pensam para o futuro dos dispositivos móveis com esta tecnologia.

1.1 Motivação

As tecnologias móveis estão mudando, se tornando cada vez menores, mais resistentes e participando cada vez mais do cotidiano das pessoas como objetos vestíveis. Os componentes usados na construção destes tipos de dispositivos estão se tornando cada vez menores a todo instante. Sabemos que estas tecnologias atuais são muito mais potentes do que supercomputadores que anos atrás ocupavam todo um dormitório.

As tecnologias móveis em particular, estão evoluindo com certa intensidade, principalmente em determinadas áreas, e uma das áreas com intensa inovação são sobre as telas. Tela OLED flexível é uma área com desenvolvimento relativamente recente e pode nos apontar muito sobre o futuro das tecnologias móveis [San].

1.2 Objetivo

Este trabalho trata-se de parte integrante do seminário apresentado para a disciplina de Computação Móvel ministrada pelo Professor Alfredo Goldman no primeiro semestre de 2014 no Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo.

O objetivo deste trabalho é esclarecer o que é, qual a composição, como funciona e quais as aplicabilidades já existente e possíveis futuras sobre a tecnologia OLED. Desta forma, ao final deste trabalho espera-se que leitor tenha um real entendimento sobre esta tecnologia.

1.3 Organização do Trabalho

Capítulo 2

Pesquisa

Esta secção irá abordar em detalhes como a pesquisa foi realizada e quais os critérios para escolha das fontes usadas.

2.1 Processo de Pesquisa

Para esta pesquisa foram utilizados informações de diversos sites de tecnologia com ênfase em três, são estes: <http://news.oled-display.net>, <http://www.display-central.com> e <http://www.oled-info.com> que tem o objetivo de centralizar informações a cerca de telas.

Por ser um assunto emergente, tomou-se cuidado em buscar literaruras recentes de forma a obter informações mais asserivas sobre o estado atual das telas OLED flexíveis.

Capítulo 3

Fundamentação Teórica

As primeiras televisões surgiram na década de XX do século passado [?]. Apartir desta descoberta, muito se evoluiu com relação as telas possibilitando ao consumidor final mais qualidade com telas mais finas, imagens cada vez mais nítidas e brilhosas, além de outros atributos que são considerados para agregar qualidade em telas.

Nos últimos anos surgiram diversas tecnologias de telas, veremos neste capítulo algumas informações das principais e últimas utilizadas.

3.1 Plasma

Uma tela de plasma (português brasileiro) ou ecrã a plasma (português europeu) é um dispositivo baseado na tecnologia de painéis de plasma (PDP, Plasma Display Panel), que foi aprimorada na última década para o mercado da televisão de alta definição (HDTV). O funcionamento baseia-se na ionização de gases nobres (plasma) contidos em minúsculas células revestidas por fósforo.

Televisores de plasma têm tela totalmente plana e estão disponíveis em tamanhos até 150 polegadas, com resoluções até 2000 pixels. Apresentam excepcional reprodução de cores e são fabricados na proporção *widescreen*. São painéis finos, de volume bastante reduzido em comparação aos monitores de tubo e retroprojeção com área de tela equivalente [Wikc].



Figura 3.1: *Tela de Plasma*

O primeiro monitor monocromático de plasma foi desenvolvido em 1964 para os computadores PLATO (PLATO Computer System), em parceria com a Universidade de Illinois em Urbana-Champaign por Donald Bitzer, H. Gene Slottow e o estudante Robert Wilson. As vantagens da

aplicação de monitores de plasma em informática até meados da década de 70, eram sua robustez e por não necessitarem de buffer de dados para atualização de imagens. Com a queda de preço dos semicondutores (Lei de Moore) os CRTs dominaram o mercado até o final dos anos 90 [Wike].

Em 1997, a Fujitsu introduziu o primeiro televisor de plasma 42 polegadas no varejo. Este tinha resolução de 852x480 (EDTV), varredura progressiva e custava US\$14.999 à sua estréia [Wike].

A tela de plasma possui algumas camadas em sua composição conforme é possível ver em 3.2

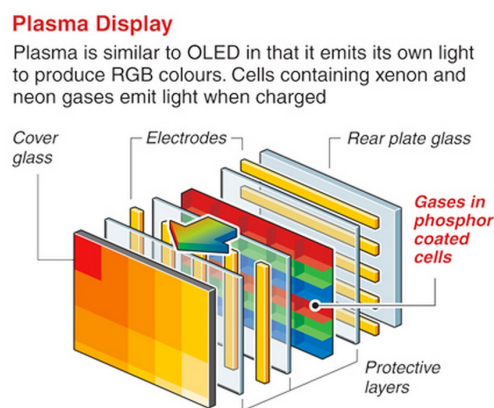


Figura 3.2: Camadas de uma Tela de Plasma

Esta tecnologia ficou muito famosa em televisores, no entanto, não foi uma tecnologia viável para dispositivos móveis pela sua tecnologia não ser tão portátil.

3.2 LCD - Liquid Crystal Display

Um LCD consiste de um líquido polarizador da luz, eletricamente controlado, que se encontra comprimido dentro de celas entre duas lâminas transparentes polarizadoras. Os eixos polarizadores das duas lâminas estão alinhados perpendicularmente entre si. Cada cela é provida de contatos elétricos que permitem que um campo elétrico possa ser aplicado ao líquido no interior.

Entre as suas principais características está a sua leveza, sua portabilidade, e sua capacidade de ser produzido em quantidades muito maiores do que os tubos de raios catódicos (CRT). Seu baixo consumo de energia elétrica lhe permite ser utilizado em equipamentos portáteis, alimentados por bateria eletrônica. É um dispositivo eletrônico-óptico modulado, composto por um determinado número de pixels, preenchidos com cristais líquidos e dispostos em frente a uma fonte de luz para produzir imagens em cores ou preto e branco [Wika].

A mais antiga descoberta que levou ao desenvolvimento da tecnologia LCD foi a descoberta dos cristais líquidos, em 1888. Em 2008 as vendas mundiais de televisores com telas de LCD superaram a venda de unidades CRT. Um monitor de cristal líquido é um monitor muito leve e fino, sem partes móveis [Wika].

A tecnologia LCD já é utilizada há algum tempo. Como exemplo, podemos citar consoles portáteis que começaram no Gameboy (Nintendo), relógios digitais, calculadoras, mp4, mp3, DVDs portáteis, câmeras digitais e celulares [Wika].

Em 17 de Março a companhia italiana Technovision lança luXio, a maior TV LCD do mundo, com 205", superando assim as TVs da Samsung, de 84"; da Panasonic, de 103"; da Sharp, de 108"; e recentemente da veterana Panasonic com 150" [Wika].

A tela de LCD possui algumas camadas em sua composição conforme é possível ver em 3.3

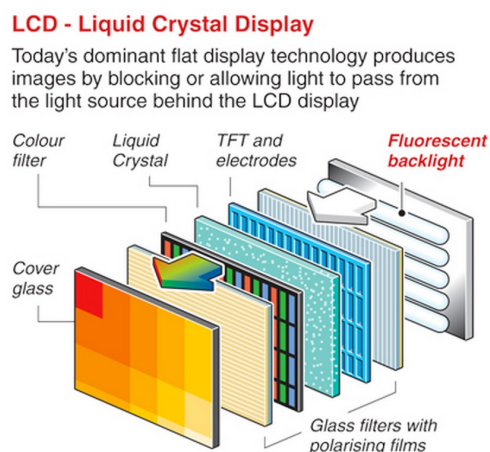


Figura 3.3: Camadas de uma Tela de LCD

3.3 LED - Light Emmiting Diode

O LED é propriamente dito um Diodo Emissor de Luz, uma espécie de componente eletrônico semicondutor que tem a capacidade de transformar energia elétrica em luz. Já as lâmpadas comuns utilizam radiação ultravioleta com descarga de gases, como no caso das lâmpadas fluorescentes usadas nas tecnologias Plasma e LCD.

O princípio do LED não foi uma invenção recente. Segundo dados pesquisados e divulgados pelo projeto Laboratório de Iluminação da Unicamp, o LED foi desenvolvido ainda que em fase experimental e rudimentar no ano de 1963 por Nick Holonyac. Seu funcionamento era apenas pela luz vermelha e com baixa luminosidade, atingindo apenas 1 mcd. Em 1960 obteve o LED amarelo e apenas em 1975 que surgiu a luz verde. Isso representa que o LED de hoje é muito mais avançado, mas a descoberta de Holonyac foi o processo inicial para a invenção da tecnologia LED.

Foi no início dos anos 90 que houve a verdadeira revolução do LED e a possibilidade de aplicá-lo no setor automotivo, por exemplo. Com o surgimento da tecnologia INGan, foi possível obter-se LEDs com comprimento de ondas menores, nas cores azul, verde e ciano, tecnologia esta que propiciou a obtenção do LED branco, e conseqüentemente, todos os espectros de cores.

Mas foi com o surgimento da tecnologia Luxeon que foi possível ter fluxo luminoso de 30 lumens e com um ângulo de emissão de 110 graus, e não mais as antigas ondas de intensidades, conseguindo assim maior rendimento e avanço tecnológico no assunto.

Por muitos anos a tecnologia LED foi utilizada como sinais de indicação de estado para aparelhos eletrônicos, como rádio, televisão e outros aparelhos. É a típica luz vermelha que indica quando o aparelho se encontra ligado ou desligado. Hoje, o LED é muito aplicado em automóveis, destacando o veículo e proporcionando melhor luminosidade com baixo consumo de energia. Também é utilizado em Painéis de Led. Estes aparelhos são aplicados para cenografia, shows, feiras e eventos, exibição de propagandas (principalmente por meio de Painel de Led Outdoor), estúdios de TV, e muitas outras ocasiões.

O Painel de Led é formado por placas compostas por pequenas lâmpadas de luzes RGB (Red, Green, Blue) formando assim os pixels, responsáveis pela composição das imagens 3.4.

LED - Light Emitting Diode

LEDs are LCD TVs that replace the cold cathode fluorescent lamps (CCFL) used in conventional LCD displays

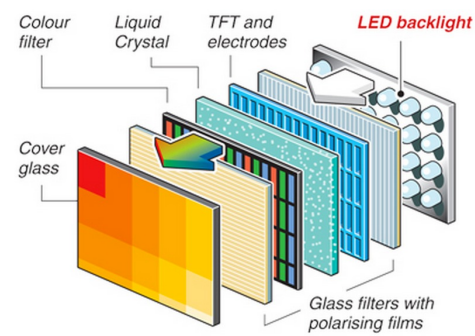


Figura 3.4: *Camadas de uma Tela de LED*

Capítulo 4

Telas OLED Flexíveis

A tecnologia OLED é baseada na iluminação através da aplicação de eletricidade em moléculas orgânicas [CF], denominado eletroluminescência, como mostra a imagem 4.1. A eletroluminescência foi inicialmente pesquisada por André Bernanose e colegas de trabalho em 1950 na Nancy-Université na França. Eles aplicaram alta tensão (AC) no ar para materias como a acridina laranja, depositada e dissolvida em filmes finos de celulose ou celofane. O mecanismo proposto era a excitação direta das moléculas do corante ou a excitação de seus elétrons [Wikb].

Em 1960, Martin Pope e colaboradores da Universidade de Nova York desenvolveram eletrodos injetáveis ôhmicos de contato a partir de cristais orgânicos. Eles descreveram ainda os requisitos energéticos necessários (funções trabalho) para os eletrodos de contato injetados. Esses contatos são a base da injeção de carga em todos os dispositivos OLED modernos. O grupo de Pope também observou pela primeira vez **eletroluminescência** de corrente contínua (DC) sob vácuo em um único cristal puro de antraceno e em cristais de antraceno embebidos com tetraceno em 1963, usando uma pequena área de eletrodo de prata em 400V. [Wikb]

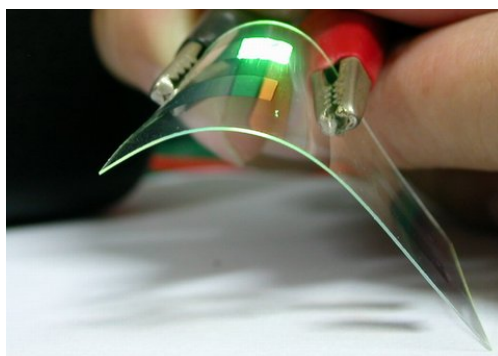


Figura 4.1: *Uma tela flexível OLED*

OLED's são dispositivos sólidos compostos por finas camadas de moléculas orgânicas que são capazes de criar eletricidade através da aplicação de eletricidade. OLED's podem prover imagens mais brilhantes, maior nitidez e consumindo menos energia que suas antecessoras, LCD e LED [CF].

O OLED é um dispositivo semi-condutor sólido de 100 a 500 nanômetros de espessura, ou seja, aproximadamente 200 vezes mais fino que um fio de cabelo humano. OLED's podem ter de 2 a 3 camadas de material orgânico; sendo que a terceira camada ajuda no transporte de elétrons do cátodo para a camada emissiva 4.4 [CF].

4.1 Origem

Dr. Ching Tang e Steven Van Slyke são os dois pioneiros da tecnologia OLED - de fato podemos dizer que eles são os inventores da tecnologia OLED em 1987 na Eastman Kodak. Os dois escreveram o artigo *Electroluminescent devices with improved cathodes* para um seminário e este tem sido citado em mais de 5000 publicações. Agora, os dois pioneiros foram incluídos no *hall* da fama dos consumidores de eletrônicos [Kod].

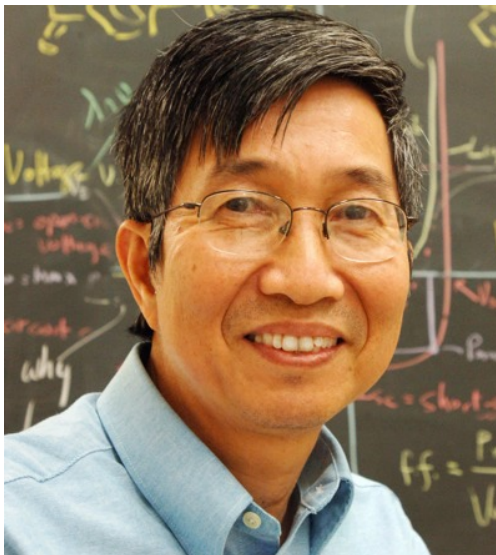


Figura 4.2: Criador da tecnologia OLED Ching Tang



Figura 4.3: Criador da tecnologia OLED Steven Van Slyke

Kodak lançou diversos dos primeiros dispositivos equipados com a tecnologia OLED, incluindo uma câmera digital com uma tela OLED de 2.2" com 512 x 218 pixels [Bel].

No início dos anos 2000, pesquisadores do *Pacific Northwest National Laboratory* e do Departamento de Energia inventou duas tecnologias necessárias para criar OLEDs flexíveis (FOLED): a primeira, de vidro flexível um substrato de engenharia que fornece uma superfície flexível, e segundo, uma fina camada de proteção Barix que protege o OLED do aquecimento e ambientes úmidos [Bel].

4.2 Vantagens

A tecnologia OLED possui algumas vantagens com relação as tecnologias de telas criadas anteriormente a ela. A seguir apresentamos as principais vantagens segundo diversos textos encontrados.

1. Maior brilho;
2. Imagens mais nítidas;
3. Utiliza menos energia que telas LCD e LED;
4. Maior ângulo visual sem distorção da imagem;
5. Taxa de atualização (*frame rate*) de imagem maior;
6. Menor custo de fabricação.

4.3 Composição e Fabricação

Tais como as tecnologias Plasma, LCD e LED, as telas OLED também possuem algumas camadas em sua composição como mostra a figura 4.4, a seguir é apresentado quais são estas camadas e para que serve cada uma [CF].

Figura 4.4: *Componentes OLED*

4.3.1 Substrato (*Substrate*)

Produzido a partir de plástico transparente, vidro ou folha metálica possui a função de suportar o OLED.

4.3.2 Anódio (*Anode*)

Sendo transparente, o anódio remove elétrons, ou seja, adiciona “buracos” de elétrons, enquanto há corrente elétrica no dispositivo.

4.3.3 Camadas Orgânicas (*Organic layers*)

Estas camadas são feitas de moléculas orgânicas ou polímeros, sendo que os tipos de moléculas e polímeros são diferentes entre as camadas.

Camada Condutiva: Esta camada é feita de moléculas orgânicas plásticas que transportam os “buracos” do Anódio. Um polímero usado nesta camada é a polianilina.

Camada Emissiva: Esta camada é feita de moléculas orgânicas plásticas, diferentes da camada Condutiva, e transporta elétrons do Catódio. É nesta camada onde a luz é gerada. Um dos polímeros usados nesta camada é o polifluoreno.

4.3.4 Catódio (*Cathode*)

Pode ser ou não transparente, a depender do tipo de OLED. Esta camada injeta elétrons enquanto a corrente elétrica flui através do dispositivo.

O maior trabalho na construção de uma tela OLED é aplicar a camada orgânica ao substrato. Existem três maneiras de se fazer isso:

1. **Deposição a vácuo ou evaporação térmica a vácuo:** Em uma câmara de vácuo, as moléculas orgânicas são aquecidas suavemente (evaporadas) e é condensada como finas camadas sobre o substrato arrefecido. Este processo é caro e ineficiente.
2. **Deposição de vapor orgânico em fase:** Em baixa pressão, em uma câmara com paredes quentes, um gás portador transporta moléculas orgânicas evaporadas para o substrato resfriado, onde se condensam em finas camadas. Utilizar um gás portador aumenta a eficiência e reduz o custo de fabricação de OLED's.
3. **Impressão a jato de tinta:** Com a tecnologia de jato de tinta, os OLED's são pulverizados sobre substratos como tintas são pulverizadas no papel durante a impressão. A tecnologia jato de tinta reduz muito o custo de produção de OLED e permite que eles sejam impressos em grandes camadas de substrato para grandes telas, como telas de TV de 80 polegadas ou painéis eletrônicos.

4.4 Funcionamento

Figura 4.5: *Processo de geração de luz em telas OLED*

Os OLEDs emitem luz de um modo similar aos LEDs, através de um processo chamado **eletrofosforescência** descrito a seguir.

1. A bateria ou fonte de alimentação do dispositivo contendo o OLED aplica uma voltagem na tela OLED.
2. Uma corrente elétrica é passada do cátodo para o ânodo através das camadas orgânicas. O cátodo fornece elétrons à camada emissiva das moléculas orgânicas. O ânodo remove elétrons da camada condutora de moléculas orgânicas (isso é o equivalente a dar buracos de elétrons para a camada condutora).
3. Na fronteira entre a camada emissiva e as camadas condutoras, os elétrons encontram "buracos" de elétrons. Quando um elétron encontra um "buraco" de elétron, ele preenche o buraco (ele cai no nível de energia do átomo que perdeu um elétron). Quando isso acontece, o elétron fornece energia na forma de um fóton de luz.
4. O OLED emite luz.
5. A cor da luz depende do tipo de molécula orgânica na camada emissora. Os fabricantes colocam vários tipos de filmes orgânicos no mesmo OLED para fazer displays coloridos.

6. A intensidade ou brilho da luz depende da quantidade de corrente elétrica aplicada: quanto maior a corrente, maior o brilho da luz.

Os tipos de moléculas usados pelos cientistas da Kodak em 1987 nas primeiras OLED's foram moléculas orgânicas pequenas. Sobretudo, essas moléculas luzes brilhantes sendo necessário utilizar o processo de depósito a vácuo (muito caro e ineficiente) para colocá-la no substrato.

Desde 1990, pesquisadores tem usado polímeros grandes para emitir luz. Polímeros podem ser menos dispendiosos e ser aplicados em grandes telas, tornando-se mais adequados para monitores de tela grande [CF].

4.5 Tipos de telas OLED

Existem diversos tipos de telas OLED conforme listado a seguir [CF]. Este trabalho no entanto, aborda mais detalhadamente os OLED flexíveis (FOLED).

1. OLED de Matriz Passiva (POLED)
2. OLED de Matriz Ativa (AMOLED)
3. OLED Transparente
4. *Top-Emitting* OLED
5. OLED dobráveis (FOLED)
6. OLED Branca

4.6 Samsung Galaxy Round e LG G Flex

No final de 2013 a Samsung lançou no mercado o primeiro dispositivo com tela Super-AMOLED curva, o Galaxy Round mostrado na figura ???. Com tela de 5.7 polegadas, 154 gramas e 7.9mm de espessura, sua tela tem uma curvatura angular de 400mm [].



Figura 4.6: *Samsung Galaxy Round*

Também no fim de 2013, logo após o lançamento realizado pela Samsung, a LG lançou sua versão de dispositivo curvo, o LG G Flex. Com 6 polegadas e tela OLED com substrato de plástico de 1280 x 70 pixels de resolução, com apenas 0.44mm de espessura e 700mm de curvatura angular.

No entanto, se há telas flexíveis, também são necessários outros componentes com esta mesma característica. Desta forma, a LG Chem's Stack Folding e outras empresas apresentaram um protótipo de bateria flexível que pode ser vista em um dispositivo na figura 4.7 a seguir [Ne].



Figura 4.7: *Dispositivo Móvel com bateria Flexível*

4.7 Investimento em telas Flexíveis

A tecnologia *Flexible* OLED irá mexer com as indústrias de celulares, tablets e PC. As empresas que não adotarem serão passadas para trás e as empresas que já fazem saem na frente. Esta tela flexível, em breve, será encontrada em quase todos os dispositivos com telas sejam eles móveis ou não [Stu].

Há tempos ocorreu a substituição natural dos dispositivos móveis com botões físicos por dispositivos móveis sensíveis ao toque. Semelhante a este movimento, no futuro próximo poderá acontecer com dispositivos móveis ou não, com telas convencionais e dispositivos, móveis ou não, com telas flexíveis [Stu].

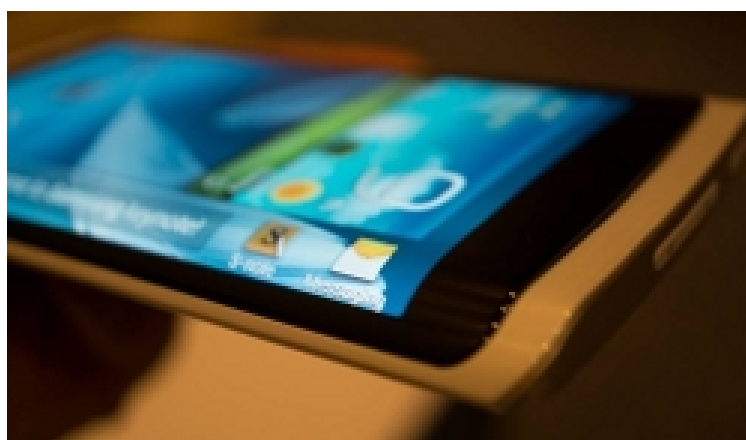


Figura 4.8: *Protótipo da Samsung com tela flexível*

Tela com a tecnologia FOLED podem ser enroladas em um tubo para facilitar o transporte ou usado como pulseiras, relógios e outros acessórios do cotidiano. A tecnologia pode criar uma

experiência de visualização mais panorâmica sobre televisões curvas e pode até mesmo ser usado como papel virtual. Estas são apenas algumas aplicações destas telas dobráveis que estão começando a surgir, e considerando que flexibilidade não é o único benefício que o OLED traz [Stu].

Além da flexibilidade, estas telas oferecem maior leveza, baixo consumo de energia, e é uma alternativa mais resistente para telas sensíveis ao toque convencionais. Isso significa que ter dispositivos mais finos e leves, com telas maiores e maior vida útil da bateria. E isso para não mencionar as resoluções possíveis que são enormes, maior contraste e tempo de resposta mais rápido. Telas de OLED flexíveis já chegaram ao mercado de televisões curvas. Eles são incrivelmente finas e absolutamente linda aos olhos [Stu]:



Figura 4.9: *Televisão com Tela Flexível*

4.8 O futuro das telas OLED flexíveis

Capítulo 5

Conclusões

As telas FOLED são feitas com materiais flexíveis podendo ser: plástico, folhas de metal ou mais recentemente vidro flexível. São extremamente leves e resistentes.

A tecnologia OLED aparenta ser perfeita para o futuro de todos os tipos de telas, porém ainda existem alguns barreiras a serem quebradas como o tempo de vida, o processo de fabricação e a resistência a água. Em se tratando especificamente de FOLED, temos ainda a barreira de que, as telas são extremamente flexíveis, no entanto todos os demais componentes necessários em um dispositivo móvel como memória, bateria, placas e outros não o são, tornando impossível a fabricação de dispositivos realmente flexíveis.

O que temos hoje disponível no mercado disponível ao consumidor final são dispositivos curvos e rígidos, ou seja, que usam a tecnologia OLED porém não podem permitir que ela seja dobrável pois os demais componentes não o são, tornando o dispositivo rígido.

134.6section.4.6

Referências Bibliográficas

- [Bel] Mary Bellis. Who invented oled technology. <http://inventors.about.com/od/ofamousinventions/a/Oled.htm>. timo acesso em 28/06/2014. 10
- [CF] Ph.D. Craig Freudenrich. How stuff works: How oleds work. <http://electronics.howstuffworks.com/oled.htm>. timo acesso em 28/06/2014. 9, 11, 13
- [Kod] Kodak. Oled pioneers ching tang and steven van slyke were inducted into the 2013 consumer electronics hall of fame. <http://www.oled-info.com/oled-pioneers-ching-tang-and-steven-van-slyke-were-inducted-2013-consumer-electronics-hall-fame>. timo acesso em 28/06/2014. 10
- [Mar] Bruno Ayres Martinez. Resumo: Tudo o que aconteceu na google i/o de 2014. <http://showmetech.band.uol.com.br/resumo-tudo-o-que-aconteceu-na-google-io-2014>. timo acesso em 28/06/2014. 1
- [.Ne] News OLED Display .Net. Introducing the flexible curved oled. <http://news.oled-display.net/flexible-curved-oled>. timo acesso em 28/06/2014.
- [San] Robin Sandhu. Flexible oled displays. <http://newtech.about.com/od/Devices/fl/Flexible-OLED-Displays.htm>. timo acesso em 28/06/2014. 1
- [Stu] Jason Stutman. Flexible smatphone investing. <http://www.energyandcapital.com/articles/flexible-smartphone-investing/3578>. timo acesso em 28/06/2014.
- [Wika] Wikipedia. Wikipedia: Lcd. http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display. timo acesso em 28/06/2014. 6
- [Wikb] Wikipedia. Wikipedia: Oled. <http://pt.wikipedia.org/wiki/OLED>. timo acesso em 28/06/2014. 9
- [Wike] Wikipedia. Wikipedia: Tela de plasma. http://pt.wikipedia.org/wiki/Tela_de_plasma. timo acesso em 28/06/2014. 5, 6