

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 23/08/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"CAMPUS DE RIO CLARO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
Departamento de Física



Fabricação e caracterização de dispositivos eletroluminescentes produzidos com compósitos

Matheus Henrique Quadros

Orientador: Prof. Dr. Giovani Gozzi

Rio Claro, SP.

2019

MATHEUS HENRIQUE QUADROS

Fabricação e caracterização de dispositivos eletroluminescentes
produzidos com compósitos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Gozzi

Rio Claro, SP.

2019

Q1f

Quadros, Matheus Henrique

Fabricação e caracterização de dispositivos eletroluminescentes produzidos com compósitos / Matheus Henrique Quadros. -- Rio Claro, 2019

62 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Giovani Fornereto Gozzi

1. Dispositivos eletroluminescentes. 2. Eletrônica impressa.
3. Compósitos. 4. Serigrafia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MATHEUS HENRIQUE QUADROS

Fabricação e caracterização de dispositivos eletroluminescentes
produzidos com compósitos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Giovani Fornereto Gozzi
UNESP – Rio Claro

Prof. Dr. Lucas Fugikawa Santos
UNESP – Rio Claro

Prof. Dr. Gregório Couto Faria
USP – São Carlos

Data da defesa: 23 de agosto de 2019.
Conceito: APROVADO

Rio Claro – SP
2019

AGRADECIMENTOS

Pelos materiais, equipamentos e serviços utilizados durante o curso de Pós-graduação em Física, onde este trabalho foi realizado, devo agradecimentos a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e a TICON – Indústria de Tintas Condutivas.

Amorosamente, agradeço a Deus, mãe, pai, irmão, sobrinha e noiva por todo apoio desde meu nascimento até a conclusão desse mestrado, vocês são a base da minha felicidade e motivação de vida. Aos meus amigos, aqueles que aprecio a companhia, obrigado por momentos de conversa e diversão, tenho convicção que o caminho foi mais alegre com a atenção de vocês.

É imprescindível agradecer aos amigos do laboratório, professores e técnicos pela ajuda nos experimentos e na teoria, principalmente ao Danilo Santos que se dedicou intensamente às atividades do laboratório. É grande minha gratidão por ter por perto pessoas que compreendem e me entendem quando eu falo do trabalho e das propriedades físicas dos materiais, especialmente a Mariane Matias e o Pedro Rebello, aos quais sou grato pelos conhecimentos compartilhados nas muitas horas de conversa e porque se importam. Ao meu orientador, Giovani Gozzi, agradeço demasiadamente por influenciar positivamente nas minhas atitudes com sua liderança e trabalho exemplar que vem fazendo, buscarei fortemente seguir suas recomendações, que outras pessoas possam e consigam aprender com alguém como você que se dedica a ensinar. Vocês quatro contribuíram muito para a conclusão deste curso e para meu crescimento pessoal.

Agradeço a quem lê este texto de bom grado, com vontade. Este projeto, foi feito com cuidado, espero que a leitura seja de fácil entendimento e que encontre o que procura.

“Os homens são miseráveis, porque não sabem ver nem entender os bens que estão ao seu alcance.”

Pitágoras

RESUMO

Dispositivos Eletroluminescentes (EL) são comumente utilizados para iluminação ambiente e transmissão visual de informações, possuem uma enorme gama de aplicações em setores diversos, como para tratamento fototerápico e decoração. Entre as atuais tecnologias, os dispositivos produzidos com compósitos eletroluminescentes têm potencial de emprego em aplicações emergentes devido ao seu baixo custo, flexibilidade mecânica e escalabilidade. Estas vantagens tecnológicas estão atreladas ao fato destes dispositivos poderem ser produzidos utilizando-se técnicas de impressão gráfica, como por exemplo, a técnica de impressão serigráfica. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de dispositivos EL totalmente impressos utilizando a técnica de impressão serigráfica. Para tanto, a pasta condutora transparente (PCT) e a pasta de prata (PTF), ambas fornecidas pela empresa TICON, foram utilizadas para a produção de eletrodos transparentes e opacos, respectivamente. A camada ativa dos dispositivos foi produzida com o compósito eletroluminescente (PEL), o qual foi desenvolvido durante o presente estudo. Filmes dos materiais PCT, PEL e PTF foram depositados utilizando-se telas com diversas lineaturas e caracterizados com relação às suas propriedades morfológicas, elétricas e ópticas, com a finalidade de identificar as melhores lineaturas de telas serigráficas para o processamento de cada um dos materiais. Por fim, dispositivos EL do tipo LECEL (*Light-Emitting Composite Electroluminescent Device*) foram produzidos com todas as camadas processadas pela técnica de deposição serigráfica manual e um estudo da influência de fatores de processamento nos parâmetros de desempenho dos dispositivos EL foi realizado. Os dispositivos EL totalmente impressos, com o compósito PEL otimizado e com arranjo de telas apropriados, apresentaram luminância em 110 V da ordem de 50 cd/m² e tensão de operação de (18 ± 2) V.

Palavras chave: Dispositivos eletroluminescentes. Eletrônica impressa. Compósitos. Serigrafia.

ABSTRACT

Electroluminescent (EL) devices have a wide range of applications. Among current technologies, devices produced with electroluminescent composites have potential for use in emerging applications due to their low cost, flexibility and scalability. Scalability and cost-effectiveness are characteristics also related to device processing methods, amongst which printing techniques, such as screen-printing, are the most appropriated to achieve these goals. Therefore, this research regards on development of screen-printed EL devices. For this purpose, the transparent conductive paste (PCT) and the silver paste (PTF), both sourced by TICON, were used for transparent and opaque electrodes fabrication, respectively. The active layer of the devices have been produced with an electroluminescent composite (PEL) developed during the present study. We have produced screen-printed films with the PCT, PEL and PTF materials using screens with different mesh counts to study the influence of mesh count on the morphological, electrical and optical properties of the films. In addition, we have performed a study regarding the influence of mesh count on the EL device performance parameters. As main result, we have fabricated a screen-printed EL device, using screens with appropriated mesh counts for deposition of each material, which exhibited luminance of 50 cd/m^2 (at 110 V) and turn-on voltage of $(18 \pm 2) \text{ V}$.

Keywords: Electroluminescent devices. Printed electronics. Composites. Screen-printing.

Sumário

1. Introdução e Revisão da Literatura.....	1
2. Objetivo e Divisão da Dissertação	6
3. Materiais e Métodos Experimentais	6
3.1. Materiais.....	7
3.2. Preparações de soluções	8
3.3. Método de deposição serigráfica.....	11
3.4. Fabricação de dispositivos eletroluminescentes.....	15
3.5. Métodos de caracterização	17
3.5.1. Caracterização optoeletrônica dos dispositivos eletroluminescentes	17
3.5.2. Método de análise de dados eletro-ópticos dos dispositivos eletroluminescentes.	18
3.5.3. Caracterização morfológica	19
3.5.3.1 Microscopia óptica	19
3.5.3.2 Perfilometria.....	20
3.5.4. Medidas de resistência de folha.....	21
3.5.5. Medidas de transmitância óptica.....	22
3.6. Experimento Fatorial	22
4. Resultados.....	24
4.1. Estudo da influência da composição do material PEL nas propriedades optoeletrônicas dos dispositivos eletroluminescentes	25
4.2. Estudo das propriedades elétricas, ópticas e morfológicas de filmes produzidos com a impressão serigráfica dos materiais PTF, PEL e PCT em função da lineatura de tela. 31	
4.2.1. Filmes de Pasta Eletroluminescente (PEL).....	31
4.2.2. Filmes de pasta prata (PTF)	35
4.2.3. Filmes de pasta condutora transparente (PCT)	38

4.3. Estudo da influência da lineatura das telas serigráficas nos parâmetros de desempenho dos dispositivos eletroluminescentes.....	43
5. Discussão dos Resultados	49
6. Conclusão	56
7. Referências	58

1. Introdução e Revisão da Literatura

Dispositivos eletroluminescentes (EL) são capazes de converter energia elétrica em energia luminosa, onde os fótons são gerados por consequência do decaimento de elétrons excitados devido a um campo elétrico aplicado sobre o material eletroluminescente. Inicialmente os dispositivos EL foram produzidos empregando-se materiais inorgânicos conhecidos como fósforos [1]. Durante mais de vinte anos de estudos, foram apresentados dispositivos com baixa eficiência na conversão da energia elétrica para luminosa, baixo brilho e tempo de vida, o que tornava estes dispositivos economicamente inviáveis. Em meados da década de setenta do século XX, houveram avanços significativos no Japão e na Grã-Bretanha devido aos resultados obtidos com dispositivos EL de filmes finos com acionamento AC e com pós (grãos, cristais) com acionamento DC, atraindo atenção por tornar a classe dos dispositivos de filmes finos mais próximos de serem produzidos em larga escala [2]. Estes dispositivos eram fabricados empregando as técnicas de bombardeamento de elétrons, *RF-Sputtering* e evaporação térmica, as quais necessitam de alto vácuo ou processamento em atmosfera inerte para deposição das camadas, além de ser um processo lento se comparado a técnicas de impressão gráfica, como serigrafia ou flexografia [3].

Contudo, no final do século XX foi demonstrado que os polímeros conjugados, aqueles que possuem alternância entre as ligações duplas e simples entre os átomos de carbono da cadeia polimérica principal, como por exemplo o poliacetileno, apresentam propriedades semicondutoras [4], sendo candidatos para a produção de componentes eletrônicos. Adicionalmente, devidos à natureza desordenada dos materiais poliméricos, que possibilita sua dissolução e processamento destes materiais como tintas (soluções ou suspensões), estes materiais permitem a fabricação de dispositivos eletrônicos por técnicas de impressão gráfica, as quais apresentam baixo custo de processamento e são compatíveis com a produção em larga escala. Atualmente, estes materiais podem ser utilizados para produção de componentes eletrônicos, como resistores, antenas de etiquetas RFID, células solares e dispositivos eletroluminescentes [5].

O emprego de materiais processados por rota líquida via técnicas de impressão passou a ser considerado para a fabricação de dispositivos EL devido a facilidade de processamento que acarreta em baixo custo de produção [6]. Os primeiros dispositivos EL utilizando o processamento de materiais por rota líquida foram fabricados no final da década de noventa do século XX, com a deposição da camada ativa, pela técnica de *spin-coating*.

Estes dispositivos, denominados PLED (do inglês, *Polymer Light Emitting Diodes*), foram produzidos com a deposição de camadas ativa sobre substrato de vidro contendo um eletrodo de óxido de índio, formando uma camada ativa nanométrica, e com eletrodo superior obtido com um metal de baixa função trabalho [7]. Desde então, diversos estudos vêm sendo conduzidos no sentido do desenvolvimento de dispositivos fabricados por técnicas de impressão gráfica, pois dispositivos impressos podem ser altamente flexíveis, ultrafinos, leves e transparentes [13]. Dentre estes estudos, pode-se destacar trabalhos na área de síntese química de novos polímeros conjugados [28], ciência e tecnologia de materiais semicondutores [29], condutores [30], blendas [31], compósitos [15] e engenharia de dispositivos eletrônicos [14].

As propriedades dos dispositivos eletroluminescentes dependem fortemente das propriedades elétricas e ópticas dos filmes que o compõe, como resistência de folha e transmitância óptica, as quais dependem do método de fabricação dos filmes [8]. Dessa forma, o processamento de um dispositivo eletrônico fabricado por rota líquida é diretamente influenciado pelo método de deposição e sinterização/cura do material depositado. Durante todo o processamento, fatores como sujeira ou poeira, mudanças de temperatura, podem afetar na formação do filme e, por consequência, afetar as propriedades eletro-ópticas dos dispositivos. Além disso, na maior parte dos dispositivos eletroluminescentes, como por exemplo PLEDs, a combinação entre as propriedades eletrônicas das diferentes camadas que o compõe são os fatores mais significativos para a operação dos dispositivos. Nestes casos, as barreiras de potencial de interface, formadas nas junções entre os eletrodos e a camada ativa, são os fatores mais determinantes no desempenho dos dispositivos [9]. Por esta razão, dispositivos com estas características são produzidos utilizando-se eletrodos com baixa função trabalho (altamente reativos aos componentes atmosféricos) e/ou estruturas com multicamadas [10,11]. Dispositivos como o PLED, que exigem o emprego de multicamadas nanométricas empilhadas, uniformes, e uso de materiais reativos, apesar de serem processados por rota líquida, são inviáveis de serem processados em larga escala por técnicas de impressão em ambiente não controlado (sem uso de sala-limpa e processamento em atmosfera inerte).

Por outro lado, os dispositivos estudados neste trabalho são relatados como LECCEL (*Light-Emitting Composite Electroluminescent Device*), os quais apresentam processamento facilitado por serem fabricados empregando-se filmes espessos, com materiais compostos

por micropartículas eletroluminescentes dispersas em uma matriz condutora. Adicionalmente, estes dispositivos são produzidos sem a necessidade de camada dielétrica e com eletrodos fabricados a partir de materiais pouco reativos aos componentes atmosféricos, podendo ser fabricado em ambiente regular (sem a necessidade de sala-limpa, vácuo ou atmosfera inerte). Outra característica peculiar, é que os dispositivos LECEL possuem operabilidade em corrente alternada (AC) ou contínua (DC) [12]. Nesta classe de dispositivos, a injeção de cargas se dá a partir dos eletrodos diretamente para a fase condutora do compósito EL (eletroluminescente), que em geral é constituída por um semicondutor polimérico dopado tipo-p [13,14]. Por esta razão, os dispositivos LECEL não necessitam ser constituídos com eletrodos com baixa função trabalho, como no caso dos PLED e OLED. Com isso, pode ser utilizado materiais com elevada função trabalho para a fabricação dos eletrodos (transparente e opaco) havendo formação de contatos ôhmicos ou quase ôhmicos [15]. Além disso, foi verificado que a resistência elétrica associada aos mecanismos de injeção de cargas em dispositivos LECEL pouco afeta o desempenho desta classe de dispositivos, pois esta é desprezível em relação à resistência de volume da camada ativa [15,12].

Uma vez que a influência dos eletrodos e dos mecanismos de injeção de cargas em dispositivos LECEL são negligenciáveis em comparação às propriedades de volume dos dispositivos, as propriedades elétricas da camada ativa são as que mais influenciam os mecanismos de operação de dispositivos LECEL. Os compósitos, utilizados para a fabricação de dispositivos LECEL, são materiais constituídos por mais de uma fase, são uma combinação de materiais com propriedades diferentes entre si que, ao serem integrados numa mesma estrutura, resultam em um novo material de propriedades controláveis em função da proporção entre estes materiais. No caso dos compósitos eletroluminescentes, um pó micro particulado de cerâmica eletroluminescente, como por exemplo $Zn_2SiO_4:Mn$ ou $ZnS:Ag$, é disperso em uma matriz composta por um semicondutor polimérico dopado (fase condutora) e um material polimérico isolante. Neste composto, a injeção de portadores de carga nas micropartículas emissoras de luz promove a excitação por impacto dos átomos emissores [16] [17] [18]. Por exemplo, a excitação de elétrons dos átomos de manganês do $Zn_2SiO_4:Mn$ resulta na transição eletrônica radiativa com pico de emissão em 520 nm [19].

Para que ocorra a injeção de cargas nas micropartículas eletroluminescentes, portadores de cargas devem ser conduzidos pela fase condutora da matriz polimérica até as

imediações das micropartículas eletroluminescentes, onde são injetados [12]. Contudo, em estudo anterior, foi demonstrado que este processo ocorre paralelamente com a condução de portadores de cargas pela matriz polimérica sem que ocorra interação com as micropartículas eletroluminescentes [20]. Assim, entende-se que o percentual entre fase condutora e isolante, bem como entre a matriz polimérica e as micropartículas eletroluminescentes, tem um papel importante nos mecanismos de operação desta classe de dispositivos. Assim, os compósitos eletroluminescentes devem apresentar uma composição específica que permita a redução do fluxo de portadores de cargas que não interagem com as micropartículas emissoras de luz e, por este motivo, não promovem a eletroluminescência no compósito. Além disto, foi demonstrado no estudo apresentado na referência [12], que a injeção de cargas nas micropartículas eletroluminescentes com energia cinética suficiente para promover a excitação eletrônica dos átomos emissores de luz ocorre em LECELs excitadas com campo elétrico de acionamento da ordem de kV/cm. Este campo elétrico corresponde a um campo elétrico efetivo, nas imediações das micropartículas eletroluminescentes da ordem de 10^5 – 10^6 V/cm, o qual é compatível com aquele necessário para promover a excitação por impacto dos elétrons dos átomos emissores de luz [21] [18] [22] [23] [24] [25] [26] [27].

A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros de desempenho de dispositivos LECEL reportados na literatura. Esta classe de dispositivo apresenta valores de luminância da ordem de unidades a milhares de cd/m^2 , dependendo do regime de operação (DC ou AC) e do processo de fabricação. Apresentam também, tensões de operação acima de 20 V e espessuras da camada ativa da ordem de dezenas a centenas de micrometros. Dentre estes, a alta luminância do dispositivo reportado na referência [32], se comparado aos demais, é discrepante porque neste é empregado um eletrodo refletor (enquanto os outros trabalhos apresentam eletrodo opaco) e a camada ativa possui alta transmitância para que a luz emitida na direção do eletrodo refletor seja refletida pelo mesmo, atravesse a camada ativa, e seja emitida passando pelo eletrodo transparente.

Tabela 1 – Parâmetros de dispositivos EL produzidos com compósitos (LECEL) reportados na literatura.

Operação	L_v (cd/m ²)	Efc (cd/A)	V _{op} (V)	V _t (kV/cm)	Espessura (μm)	Referência
DC	-	-	75-150	4.6	163-284	[12]
DC	200	24	33	4.0	140	[33]
DC	100	-	25	103 - 104	230	[13]
AC (10 kHz)	1017	-	>40	66.7	60	[32]
AC (500 kHz)	5	-	-	-	25	[34]

Obs: Luminância (L); Efc (Eficácia); V_{op} (Tensão de operação); V_t (campo elétrico de acionamento)

Embora os estudos anteriormente reportados demonstrem a possibilidade de se fabricar dispositivos LECEL utilizando-se técnicas de impressão gráfica, em geral, certos componentes dos dispositivos, como por exemplo os eletrodos, são produzidos utilizando técnicas de deposição como evaporação térmica ou RF-*Sputtering*. No presente estudo propomos a fabricação de dispositivos LECEL com todos os componentes do dispositivo fabricados pela técnica de impressão serigráfica.

6. Conclusão

O presente trabalho apresenta a fabricação de dispositivos eletroluminescentes com camada ativa produzida com uma pasta eletroluminescente (PEL), uma pasta condutora transparente (PCT) e uma pasta de prata (PTF) empregando-se a técnica de deposição serigráfica. Para tanto, foram realizados estudos sobre a influência da lineatura das telas de posição serigráfica nas propriedades morfológicas, elétricas e ópticas dos filmes obtidos com os diferentes materiais, bem como nos parâmetros de desempenho dos dispositivos eletroluminescentes.

Para o estudo da influência das lineaturas de telas nas propriedades físicas dos filmes obtidos com os diferentes materiais, o material PEL, bem como o material PCT e PTF, foram depositados sobre vidro com telas serigráficas de diferentes lineaturas e caracterizados empregando-se as técnicas de microscopia óptica, perfilometria, medida de resistência de folha por quatro-pontas e transmitância óptica. Com estas técnicas as seguintes propriedades dos filmes foram determinadas: 1) área percentual de defeitos, 2) espessura, 3) rugosidade, 4) uniformidade 5) reprodutibilidade 6) resistência de folha, 7) transmitância óptica, 8) condutividade elétrica e 9) coeficiente de absorção óptica. Deste estudo, foram selecionados intervalos de lineaturas das telas que produzem filmes com uniformidade e reprodutibilidade próximas ou acima de 80% e baixa área percentual de orifícios como adequadas para a fabricação de dispositivos EL totalmente impressos.

Para a deposição do material PEL foram selecionadas as lineaturas entre 60 e 120 fios/cm, com as quais se pode produzir filmes com área percentual de orifício abaixo de $(0,4 \pm 0,4)\%$ e espessuras de (15 ± 2) a (28 ± 4) μm . Para o material PTF, telas com lineaturas entre 60 a 120 fios/cm foram selecionadas, com as quais foram produzidos filmes com área percentual de orifícios de $(0,03 \pm 0,02)\%$, espessuras de (8 ± 2) a (13 ± 2) μm e resistência de folha entre $(0,11 \pm 0,02)$ e $(0,19 \pm 0,01)$ Ω/sq . Para o material PCT, foram selecionadas telas com lineaturas entre 90 e 150 fios/cm, com as quais foram produzidos filmes com área percentual de orifícios em torno de $(1,0 \pm 0,5)\%$, espessuras entre $(0,5 \pm 0,1)$ e $(0,9 \pm 0,2)$ μm , resistência de folha de (27 ± 5) a (66 ± 6) Ω/sq e transmitância óptica superior a 75% para o comprimento de onda de referência (555 nm).

Estes intervalos de lineaturas de foram empregados para a fabricação de dispositivos eletroluminescentes totalmente impressos por serigrafia, as quais foram combinadas

segundo um design experimental fatorial completo. Os dispositivos foram caracterizados com relação às suas propriedades eletro-ópticas, das quais foram determinados os parâmetros de desempenho: taxa da luminância, taxa da eficácia e tensão de operação. Os parâmetros de desempenho foram analisados segundo o método de análise de variância (ANOVA) para identificação da lineatura de tela mais apropriada para deposição de cada uma das camadas que compõem o dispositivo. Com este estudo foi determinado que os dispositivos EL produzidos com telas de 150, 60 e 120 fios/cm para deposição do material PCT, PEL e PTF respectivamente apresentam melhor desempenho, atingido luminância da ordem de 50 cd/m² (em 110 V) e tensão de operação de (18 ± 2) V.

7. Referências

1. LESKELÄ, ; WEI MIN , ; RITALA,. Electroluminescent Phosphors. **Materials Science and Materials Engineering**, 2018.
2. THEIS, D. Application of thin film electroluminescent devices. **Journal of Luminescence**, v. 23, p. 191-207, 1981.
3. T, ; S, M. Phosphor films. **Topics in Applied Physics**, 1977.
4. GOZZI, G. **Fabricação e caracterização de dispositivos poliméricos emissores de luz com camada ativa de poli(2-metóxi, 5-(2-etil-hexilóxi)-1,4-fenileno vinileno) (MEH-PPV)**. USP. São Carlos, SP. 2008.
5. REBELLO, P. **Aplicação de técnicas de impressão a dispositivos eletrônicos**. [S.l.]. 2014.
6. KHAN, ; LORENZELLI, L.; DAHIYA, R. S. Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review. **IEEE SENSORS JOURNAL**, v. VOL. 15, n. NO. 6, JUNE 2015.
7. BURROUGHES, J. H. et al. Light-emitting diodes based on conjugated polymers. **Nature**, v. 37, out. 1990.
- 8 CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5a. ed. [S.l.]: LTC, 2002.
9. PARK, K.; SEO, ; LEE,. Conductivity of silver paste prepared from nanoparticles. **Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects**, 2008.
10. HAMEED, S. P. P. . B. M. Polymer Light Emitting Diodes - A Review on Materials and Techniques. **Reviews on Advanced Materials Science**, 2010.
11. SANTOS , L. F.; GOZZI, G. **Electrical Properties of Polymer Light-Emitting Devices**, 2016.
12. GOZZI, G. A study of the electroluminescence mechanism in a light-emitting composite produced with PEDOT:PSS, PVA and Zn₂SiO₄:Mn. **Optical Materials**, 2018.

13. CHINAGLIA, D. L. et al. Fabrication of novel light-emitting devices based on green-phosphor/conductive-polymer composites. **Philosophical Magazine Letters**, p. Vol. 87, No. 6, June 2007, 403–408, 2007.
14. COLUCCI, R.; GOZZI, G.; AL., E. Cross-linked PEDOT_ PSS as an alternative for low-cost solution-processed electronic devices. **Synthetic Metals**, 2018.
15. GOZZI, G. et al. Charge injection in an LED with a hybrid composite as the emissive layer. **Materials Science and Engineering C**, 2011.
16. BRENNAN, K. Theory of high-field electronic transport in bulk ZnS and ZnSe. **Journal of Applied Physics**, 1988.
17. FISCHETTI, M. V. Theory of high-field electron transport in silicon dioxide. **Physical Review B**, 1985.
18. BRINGUIER, E. Impact excitation in ZnS-type electroluminescence. **Journal of Applied Physics**, 1991.
19. SREEKANTH CHAKRADHAR, R. et al. Solution combustion derived nanocrystalline Zn₂SiO₄:Mn phosphors: A spectroscopic view. **Journal of Chemical Physics**, 2004.
20. GOZZI, G. et al. Gozzi Electric characterization of a hybrid composite based on POMAP(VDF-TrFE)Zn₂SiO₄Mn using impedance spectroscopy. **JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS**, 2006.
21. H. SHICHIJO, K. H. Band-structure-dependent transport and impact ionization in GaAs. **Phys. Rev. B** , 1981.
22. D. ARNOLD, E. C. D. J. D. Theory of high-field electron transport and impact ionization in silicon dioxide. **Phys. Rev. B**, 1994.
23. A.F. CATTELL, J. C. I. J. K. dc electroluminescence in copper-free ZnS:Mn thin films. II. A dielectric breakdown theory of instability. **J. Appl. Phys.**, 1987.
24. J.M. BLACKMORE, A. F. C. K. F. D. J. K. P. L. Personality Correlates of Conventional and Unconventional Glossolalia. **J. Appl. Phys.**, 1987.

25. V. CERIC, Z. O. Evidence for AC and DC electroluinescence of CdS:Cu powder phosphors. **J. Mater. Sci.** , 1972.
26. R. MYERS, J. F. W. Transferred charge analysis of evaporated ZnS:Mn alternating-current thin-film electroluminescent devices. **J. Appl. Phys.** , 1997.
27. X. OUYANG, A. H. K. T. X. Electroluminescence of the oxide thin film phosphors Zn₂SiO₄ and Y₂SiO₅. **J. Appl. Phys.**, 1996.
28. ALSALHI, M. S. et al. Recent Advances in Conjugated Polymers for Light Emitting Devices. **International Journal of Molecular Science**, 2011.
29. YU, G. High performance photonic devices made with semiconducting polymers. **Synthetic Metals**, 1996.
30. PASQUARELLI, R. & G. D. & O. R. Solution Processing of Transparent Conductors: From Flask to Film. **Chemical Society** , 2011.
31. CARR, O. et al. Analysis of the electrical and optical properties of PEDOTPSSPVA blends for low-cost and high-performance organic electronic and optoelectronic devices. **Translational Materials Research**, 2015.
32. SHIM, H.; CHOI, B.; AL., E. Highly Bright Flexible Electroluminescent Devices with Retroreflective Electrodes, 2017.
33. FERES, F. H.; SANTOS, L. F.; GOZZI,. Temperature and Electric Field Influence on the Electrical Properties of Light-Emitting Devices Comprising PEDOT:PSS/GPTMS/Zn₂SiO₄:Mn Composites. **MRS Advances - Materials Research Society**, 2018.
34. JUN, et al. Extremely flexible, transparent, and strain-sensitive electroluminescent device based on ZnS:Cu-polyvinyl butyral composite and silver nanowires. **Applied Surface Science**, 2017.
35. (3-GLYCIDYLOXYPROPYL)TRIMETHOXY-SILANE. **SigmaAldrich**. Disponivel em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/440167?lang=pt®ion=BR>>.
36. PEDOT:PSS. **Ossila**. Disponivel em: <<https://www.ossila.com/products/pedot-pss>>.

37. GUIA de Comparação do produto. **SigmaAldrich**. Disponível em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/hydroxypropylcellulose12345900464211?lang=pt®ion=BR>>.
38. MARQUES, A. H. F. **Desenvolvimento de Protótipos com Compósitos de GPTMSPEDOTPSS (BR 10 2015 024848 2) Antena para RFID e Resistencia Desembaçadora de Vidro**. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS - UNESP. Rio Claro. 2018.
39. ALIAS, R.; SHAPEE, S. M. Rheological Behaviors and Their Correlation with Printing Performance of Silver Paste for LTCC Tape.
40. [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FILE:OSCAL_2017_SILKSCREEN_PRINTED_MATERIALS_28.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/File:OSCAL_2017_SilkScreen_Printed_Materials_28.jpg). Acesso em: 31 ago. 18.
41. ABBOTT, S. **How To Be A Great Screen Printer**. [S.l.]: [s.n.], 2008.
42. YANGA, T.; LIN, H.-C.; CHEN, M.-L. Metamodeling approach in solving the machine parameters optimization problem using neural network and genetic algorithms: A case study 2005. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 22, p. 322-331, 2006.
43. SMITS, F. M. Measurement of sheet resistivities with the four-point probe. **The bell system technical journal**, maio 1957.
44. ELEN, K.; VAN BAE, M. K.; AL., E. Screen-printing of flexible semi-transparent electrodes and devices based on silver nanowire networks.
45. REITZ, J. R. . M. F. J. E. C. R. W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética. 3.ed.** Rio de Janeiro: Campus, 1982.
46. MIKKONEN, R. **Evaluation of commercially available silver inks screen printed on a PPE based substrate**. Tampere University of technology. [S.l.]. 2017.
47. UDA, M. et al. Work function of polycrystalline Ag, Au and Al. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, 1998.

