

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Abscheidung von organischen Materialien zur Herstellung von organischen Leuchtdioden (OLEDs) mittels Elektrospraybeschichtung (ESD). Das Ziel ist die Etablierung einer effizienten, kostengünstigen und einfach zu handhabenden Abscheidungsmethode für Lochinjektions-, Lochtransport- und Emitter-Schichten in organischen Leuchtdioden, die eine Herstellung von OLEDs auf planaren oder 3D-Freiform Glassubstraten ermöglicht und des Weiteren Möglichkeiten zur verbesserten Lichtauskopplung bietet.

Im ersten Abschnitt dieser Arbeit wird die Elektrosprayabscheidung des Lochinjektionsmaterials Poly(3,4-ethyldioxythiophen):Polystyrolsulfonsäure (PEDOT:PSS) untersucht, um eine alternative Beschichtungsmethode im Gegensatz zur Schleuderbeschichtung zu etablieren. Die Elektrospraybeschichtungs-Methode soll dabei ebenfalls die Herstellung von OLEDs auf 3D-Freiform Glassubstraten ermöglichen. Für die nachfolgenden Schichten wird die bereits bekannte Methode der PEDOT:PSS induzierten Vernetzung (PIX) angewandt. Dafür müssen die PEDOT:PSS-Filme sowohl als Lochinjektionsschicht in der OLED als auch Initiatorschicht für PIX fungieren. Dies ermöglichte die Herstellung vollständig lösungsmittelprozessierter Mehrschicht-OLEDs auf verschiedenen kommerziell erhältlichen Glassubstraten wie etwa Uhrgläsern und kleinen Glasflaschen, sowie auf dem Glaskörper einer Glühbirne. Weiterführend wurden solche vollständig lösungsmittel-prozessierten Mehrschicht-OLEDs auf speziellen ITO-beschichteten Design 3D-Glassubstraten realisiert, die im Rahmen des „OLED-3D Projekts“ als Rück- bzw. Bremslicht in einem AUDI TT fungieren sollten.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wird die Abscheidung eines vernetzbaren monomeren Lochtransport Materials (HTM) mittels ESD untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der Verwendung des gesprühten HTM zur Verbesserung der Lichtauskopplung von OLEDs. Lochtransportsschichten (HTL), die durch ESD abgeschieden wurden, besitzen eine poröse Morphologie und weisen einen erheblich reduzierten Brechungsindex n von 1.45 auf (anstatt 1.65). Unter Verwendung dieser HTL mit reduziertem n wurde die Abhängigkeit des OLED Schichtstapels bezüglich der HTL Schichtdicke und des Emittermaterials untersucht. Verschiedene OLED Materialien wurden mittels dieses Ansatzes untersucht, was im Gesamten in einer verbesserten Lichtauskopplung resultierte, sowohl für lösungsmittelprozessierte als auch vakuumsublimierte OLEDs (auf flachen Glassubstraten). Bauteile die einen HTL mit reduziertem n aufweisen, demonstrieren verbesserte externe Quanteneffizienz (EQE) und Lebensdauer. Als weitere

Machbarkeitsstudie wurde die HTL mit reduziertem Brechungsindex mit einem Auskopplungsgitter (dem sogenannten „Low-index-grid“) kombiniert um die Lichtauskopplung weiter zu verbessern.

Im dritten Teil wird die Abscheidung von Emittermaterialien (kleine Moleküle oder Polymere) mittels ESD ausgeführt, um die Herstellung von vollständig gesprühten OLEDs zu ermöglichen. Bauteile mit gesprühten EML präsentieren dabei eine Verbesserung der Effizienz wenn die EML Schichtdicke steigt. Im Gegensatz dazu zeigen die Referenzbauteile eine gegenläufige Tendenz. Weiterführend wurde in einer Machbarkeitsstudie die gleichzeitige Elektroprayabscheidung von zwei roten Emitter-Tinten untersucht. Abschließend werden die neu etablierten ESD Parameter für die Abscheidung von PEDOT:PSS, HTL und EML kombiniert, um die Herstellung von vollständig elektro-gesprühten (FS-ESD) OLEDs zu ermöglichen. Homogene PEDOT:PSS Filme werden als Basis mittels ESD aufgebracht, während die anschließend gesprühten HTL Schichten eine poröse Morphologie mit reduzierten Brechungsindex aufweisen, um die Lichtauskopplung dieser FS-ESD Bauteile zu verbessern. Die so hergestellten OLEDs zeigten vergleichbare Bauteileffizienzen wie die aufgeschleuderten Referenzbauteile.

Zusammengefasst zeigt diese Arbeit das Potential der Elektropraybeschichtungsmethode, welche sowohl die Herstellung von Bauteilen auf Substraten unterschiedlichster Formen (3D) als auch die Fabrikation von vollständig elektro-gesprühten OLEDs mit vergleichbarer Effizienz ermöglicht.

Abstract

In this work, the deposition of organic materials for the fabrication of Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs) is investigated by means of Electrospray Deposition (ESD). With the ambition to establish an efficient low-cost straightforward deposition method for hole-injection, hole-transport and emissive layer in OLED to allow for fabrication of devices on either planar or 3D-shaped glass substrates, while additionally investigating approaches for enhanced light-outcoupling.

In the first part of this thesis the electro-spray deposition of hole-injection material poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) is investigated, to establish an alternative application method in contrast to spin-coating, which further allows for the fabrication of OLEDs on arbitrary shaped 3D-glass substrates. For the subsequent OLED layers the recently reported PEDOT:PSS induced cross-linking (PIX) processes will be executed. Therefore, these PEDOT:PSS films have to function either as hole-injection layer in OLED as well as initiator layer for PIX. This enabled the fabrication of fully solution-processed multi-layer OLEDs on different commercially available glass substrates like watch-glasses and glass vials, and on top of the glass body of a light-bulb. Furthermore, fully solution-processed multi-layer OLEDs have been fabricated on specific designed ITO-coated 3D-glass substrates, which should be used as taillight in an AUDI TT in the context of "OLED-3D Project".

In the second part of this work the deposition of a cross-linkable hole-transport material (HTM) is performed by means of ESD. The focus is the usage of the electro-sprayed HTM to enhance the light-outcoupling in OLEDs. Hole-transport layer (HTL) prepared by ESD features a porous morphology presenting a significantly reduced refractive index of 1.45 (instead of 1.65). Using the reduced refractive index HTL, the dependence of the device stack regarding HTL thickness and emitter material is studied. Several different OLED materials have been investigated during this approach, yielding overall enhanced light-output, either for solution or vacuum-processed devices (on planar substrates). OLEDs featuring reduced refractive index HTL demonstrate improved external quantum efficiency (EQE) and lifetime. As a further proof-of-concept experiment reduced refractive index HTL is combined with a outcoupling grating (so-called low-index-grid, LIG) to further improve the light-output of an OLED.

In the third part, the deposition of emitter materials (small molecule or polymer) is performed via ESD to enable fabrication of fully electro-sprayed OLEDs. Devices featuring electro-spray deposited EML present increasing efficiency for increasing EML thickness, whereas reference devices show dissimilar trend. As an additional proof-of-concept experiment combined ESD of two different red-emitting inks is studied. Finally, the established ESD parameters for deposition of hole-injection layer PEDOT:PSS, HTL and EML

are combined to allow fabrication of fully electro-sprayed (FS-ESD) OLEDs. Homogeneous PEDOT:PSS films are placed as basis while porous reduced refractive index HTL films are used to improve the light-output of those FS-ESD OLEDs. The obtained OLEDs demonstrated comparable performance like respective spin-coated reference devices.

In summary this study demonstrates the potential of the electro-spray deposition method to allow for device fabrication on substrates with altered (3D) outline, and fabrication of fully electro-spray deposited devices with comparable performance.