

Diss. ETH N° 18'192

Laser-Induced Forward Transfer for the Fabrication of Patterned Organic Light-Emitting Diodes

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Romain Fardel

Master of Science en Génie chimique et biologique,
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

born 10.05.1982

citizen of Mutrux, Vaud

accepted on the recommendation of

Prof. Dr Alexander Wokaun, examiner

Prof. Dr Detlef Günther, co-examiner

PD Dr Thomas Lippert, co-examiner

2009

Abstract

The use of organic compounds as active materials in flat panel displays represents the next generation technology in the field, enabling an improved image quality, a reduced power consumption and the ability to build flexible displays. This work presents the development of a transfer technique based on laser ablation which is aimed at the deposition of organic light-emitting diode (OLED) pixels as the building block of displays based on organic materials.

The deposition technique is based on LIFT (laser-induced forward transfer), whose working principle involves a transparent substrate coated with the material to transfer. The material is irradiated through the substrate by a high power laser pulse, which triggers the removal and ejection of the material from the substrate. The ejected material is then collected onto a receiver substrate placed in front of the donor film. In this way, precise patterns defined by the shape of the laser beam can be transferred.

Direct irradiation of the transfer material is not admissible for sensitive compounds, therefore a modification of the technique was introduced to solve this limitation. The modification involves the use of a sacrificial layer of a triazene polymer, which has been specifically designed for laser ablation in the ultraviolet region. The triazene layer is coated between the substrate and the transfer material, and upon irradiation, it absorbs the laser pulse, decomposes into gaseous products and propels the sensitive materials onto the receiver substrate, while protecting them from irradiation.

In this work, the application of the triazene polymer as sacrificial layer for LIFT has been studied with the goal of transferring functional OLED pixels.

Laser ablation of the triazene layer has been investigated over a broad thickness range and reveals that a dramatic increase of the laser energy density is required to ablate very thin films. This result is confirmed by theoretical modelling, which shows that heat diffusion into the substrate as well as the reduced absorption length play a crucial role for the ablation of very thin films.

Ablation of the triazene layer from the back side has been investigated by time-resolved shadowgraphy. The ejection of a flyer of undecomposed polymer was observed, which appears when the laser fluence is not sufficient to ablate the complete layer. An analysis of the trajectories of the flyer and the shock wave created by the ablation was performed and allowed to estimate the energy balance of the process.

Back side ablation of a triazene/metal film produced the ejection of a metal flyer, whose

stability in flight can be improved when the flyer contains a layer of undecomposed triazene polymer. The stabilisation is provided by the composite structure of metal/polymer film. The ejection of a flyer from a triazene/metal/luminescent polymer film, selected as building block of an OLED pixel, shows an increased stability of the flyer as well, thus confirming the effect of a polymer layer on the metal flyer.

The transfer was investigated with different separation distances between the donor and the receiver substrates and shows that close contact between the substrates is the most favourable condition for a successful transfer. A very good deposition of metal/luminescent polymer pixels was achieved with this configuration.

The transfer of pixels across a gap reveals an additional effect that complicates the system. The shock wave created by ablation is reflected from the receiver substrate and may cause the destruction of the flyer. Transfer studies in vacuum showed that the shock wave can be eliminated but that the flyer speed increases substantially, leading to the desintegration of the flyer upon impact with the receiver substrate.

Finally, the successful transfer of an OLED building block is demonstrated. The transferred pixels are fully functional and exhibit properties comparable to devices prepared by classical techniques. These results show that sensitive materials can be transferred with the LIFT technique using a triazene polymer as sacrificial layer, without altering the functional properties of the materials. This work suggests that LIFT is a possible industrial process for the deposition of organic light-emitting diode pixels.

Zusammenfassung

Die Verwendung organischer Verbindungen als Aktivschichten für die nächste Generation von Flachbildschirmen ermöglicht eine verbesserte Bildqualität bei vermindertem Stromverbrauch sowie die Herstellung flexibler Bildschirme. In dieser Arbeit wird die Entwicklung einer neuen, auf Laserablation basierenden Übertragstechnik vorgestellt, deren Ziel die Deposition von Pixeln aus organischen Leuchtdioden (OLED) als Baublöcke für organische Bildschirme ist.

Diese Übertragstechnik beruht auf LIFT (*laser-induced forward transfer*), wobei ein transparentes Substrat zunächst mit dem zu transferierenden Material beschichtet wird. Dann wird diese Materialschicht durch das Substrat mit einem Hochleistungslaser-Puls bestrahlt, wodurch das Material herausgeschleudert wird. Das beschleunigte Material trifft auf ein dem Donorsubstrat gegenüberliegendes Empfängersubstrat auf. So lassen sich auf präzise Art Muster übertragen, deren Form dem Laserstrahl entspricht.

Um eine für sensitive Materialien unzumutbare direkte Bestrahlung zu vermeiden wurde eine Änderung der Technik eingeführt, deren Prinzip auf der Ablation einer Triazenpolymer-Opferschicht beruht, die sich zwischen der Materialschicht und dem Substrat befindet. Das Triazenpolymer wurde spezifisch für die Ultraviolett-Laserablation entwickelt und wird nach Absorption des Laserpulses in gasförmige Produkte zersetzt. Diese katalysieren die darüberliegende Materialschicht auf das Empfängersubstrat während die Materialschicht vor direkter Lasereinwirkung abgeschirmt wird.

In dieser Arbeit wurde die Anwendung eines Triazenpolymers als Opferschicht für LIFT untersucht, mit dem Hauptziel, OLED-Pixels unter Erhaltung der Funktion zu übertragen.

Die Laserablation des Triazenpolymers wurde für einen breiten Schichtdickenbereich untersucht, wobei sich zeigte, dass die Ablation sehr dünner Filme eine erhöhte Laser-Energiedichte benötigt. Dies wurde mit Hilfe eines dafür entwickelten Modells bestätigt, das den starken Einfluss der Wärmediffusion ins Substrat sowie der reduzierten Eindringtiefe des Laserlichtes auf die Ablation sehr dünner Schichten beweist.

Die Ablation des Triazenpolymers von der Rückseite wurde mittels eines zeitaufgelösten Schattensvisualisierungsverfahren (*shadowgraphy*) untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass ein Materialpixel aus Triazenpolymer herausgeschleudert wird, wenn die Laser-Fluence ungenügend für eine vollständige Zersetzung des Filmes ist. Die Analyse der Flugbahn des Pixels und der bei der Ablation ausgelösten Schockwelle ermöglichte es, ein

Energiebilanz für dieses System abzuschätzen.

Bei der Ablation eines zweischichtigen Films aus Triazenpolymer und Metall wird ebenfalls ein Metallpixel herausgeschleudert, dessen Flugstabilität verbessert werden kann, wenn der Pixel noch eine Schicht von unzersetztem Triazenpolymer enthält. Diese Stabilisierung ist auf die Ausbildung eines zweischichtigen Kompositenfilms zurückzuführen. Das Herausschleudern eines dreischichtigen Films aus Triazenpolymer, Metall und Leuchtpolymer ist ebenfalls untersucht worden, und zeigt eine verbesserte Stabilität des Pixels, was den stabilisierenden Einfluss der Polymerschicht auf den Metallpixel bestätigt.

Materialübertragung wurde mit verschiedenen Abständen zwischen Donor- und Empfängersubstrat untersucht und zeigt, dass der beste Übertrag beim direkten Kontakt zwischen beiden Substraten stattfindet. Unter diesen Bedingungen wurde eine sehr gute Deposition von Metall-Leuchtpolymer-Doppelschichten erreicht.

Die Pixelübertragung mit einem Abstand zwischen den Substraten hat zur Entdeckung geführt, dass die ausgelöste Schockwelle am Empfängersubstrat reflektiert wird und den Materialpixel zerstören kann, wenn die Schockwelle auf ihn trifft. Der Übertrag wurde auch unter Vakuum studiert und zeigt, dass die Schockwelle zwar eliminiert ist, aber dass der ungebremste Pixel sehr hohe Geschwindigkeiten erreicht, was seine unmittelbare Zerstörung beim Kontakt mit dem Empfängersubstrat verursacht.

Schliesslich wurde der erfolgreiche Übertrag von OLED-Bauelementen demonstriert. Die übertragenen Pixel weisen vergleichbare Eigenschaften wie Leuchtdioden auf, die mit herkömmlichen Methoden hergestellt worden sind. Diese Ergebnisse beweisen, dass die auf einer Triazenpolymer-Opferschicht beruhende LIFT-Technik geeignet ist, um empfindliche Materialien zu übertragen, ohne ihre funktionellen Eigenschaften zu verändern. Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen darauf hin, dass eine mögliche industrielle Anwendung der LIFT-Technik für die Herstellung von OLED-Pixel denkbar ist.