

BMBF-Projekt 13N8993

“Organic Vapour Phase Deposition als Technologie für die Herstellung weißer OLEDs“  
Abschlussbericht der AIXTRON AG

## **Abschlussbericht zum Forschungsprojekt**

**Förderschwerpunkt:**

**„OPAL2008“**

**Teilprojekt: „Organic Vapour Phase Deposition als Technologie für die Herstellung weißer OLEDs“**

**Fördernummer 13N8993**

**Durchführende Institution:**

**AIXTRON AG**

**Kackertstr. 15 – 17, 52072 Aachen**

**Neue Adresse seit Mai 2009: Kaiserstr. 98, 52134 Herzogenrath**

**Projektleitung:**

**Prof. Dr. Michael Heuken**

***Vice President Corporate Research and Development***

## 1 Inhaltsverzeichnis

2	Kurze Darstellung der Aufgabenstellung.....	4
3	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	5
4	Planung und Ablauf des Verbundprojekts.....	7
5	Meilensteine und Arbeitspakete.....	8
6	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens.....	13
7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	16
8	Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des OVPD® Abscheideverfahrens und andere wesentliche Ereignisse.....	17
9	Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete .....	21
	AIX-AP 1: Simulation einer vertikalen OVPD-Anlage der Gen 4 .....	21
	AIX-AP 1.1: Design-Transfer von Applied Films (heute Applied Materials, AMAT, Alzenau) zu AIXTRON 21	
	AIX-AP 1.2: 3D-Modell Integration von OVPD-CCS Technologie in das In-Line Kesselmodul.....	21
	AIX-AP 1.3: Untersuchungen zum laminaren Fluss, zur Geometrie und der Temperaturverteilung eines vertikalen OVPD-Gen 4 Moduls .....	22
	AIX-AP 1.3.1: Entwicklung der Gasabsaugung (Exhaust) für ein vertikales OVPD Gen4 Modul .....	22
	AIX-AP 1.3.2: Entwicklung eines Showerhead für ein vertikales OVPD Gen4 Modul .....	25
	AIX-AP 1.3.3: Entwicklung eines Substratträgers für vertikales OVPD Gen4 Modul .....	26
	AIX-AP 1.3.4: Entwicklung eines Kühlkörpers für Substratträger für vertikales OVPD Gen4 Modul .....	27
	AIX-AP 1.3.5: Entwicklung von Hitzeschutzschilder und Kühlungen für vertikale OVPD Gen4 .....	28
	AIX-AP 1.3.6: Studie Flussdynamik und Temperaturmanagement für vertikale OVPD Gen4 .....	29
	AIX-AP 1.4: Analyse der In-Line Prozesskette und Takt-Zeit Analyse .....	31
	AIX-AP 1.5: Analyse der Reduktion (Vermeidung) von Partikeln .....	34
	AIX-AP 2: Neukonstruktion von Schlüsselkomponenten einer Gen 4 vertikalen In-Line OVPD- Anlage, basierend auf den bisher gesammelten Erfahrungen und experimentellen Ergebnissen .....	35
	AIX-AP 2.1: Entwicklung eines neuen Quellenkonzepts für die vertikale OVPD Technologie.....	35
	AIX-AP 2.2: Entwicklung neuer Hochtemperaturventile für die OVPD-Technologie .....	36
	AIX-AP 2.3: Entwicklung einer neuen Mischkammer und eines neuen Showerheads für die vertikale OVPD-Technologie .....	37
	AIX-AP 2.5: Design der Abscheidkammer und Integration der Baugruppen für vertikale OVPD Gen4 ..	38
	AIX-AP 2.6: Analyse der Produktionskosten (CoO) .....	40
	AIX-AP 3: Simulation, Neukonstruktion und Bau von neuen Quellen für die Gen 1 OVPD.....	43
	AIX-AP 3.1: Entwicklung eines neuen Quellendesigns .....	43

<b>AIX-AP 3.2: Simulation des neuen Verdampfers .....</b>	<b>44</b>
<b>AIX-AP 3.3: Test und Analyse des neuen Gen 1 Quellendesigns.....</b>	<b>45</b>
<b>AIX-AP 3.4: Integration der neuen Hochtemperaturventile in die OVPD Gen 1 Technologie.....</b>	<b>47</b>
<b>AIX-AP 4: Integration, Test und Betrieb der neuen Quellen in der Gen 1 OVPD .....</b>	<b>48</b>
<b>AIX-AP 4.1: Integration der neuen Quellen in die OVPD Gen 1 Technologie .....</b>	<b>48</b>
<b>AIX-AP 4.2: Test und Analyse neuer Entwicklungen an der Gen 1 Anlage .....</b>	<b>51</b>
<b>AIX-AP 4.3: Test von neuen Entwicklungen mit OLEDs an der OVPD Gen 1 Anlage .....</b>	<b>54</b>
<b>AIX-AP 4.4: Analyse der Prozessdaten .....</b>	<b>61</b>
<b>AIX-AP 5: Test von BASF entwickelten Materialien für weiße OLEDs in der OVPD.....</b>	<b>62</b>
<b>AIX AP 5.1: Bestimmung der thermischen Stabilität und Verdampfung .....</b>	<b>62</b>
<b>10 Veröffentlichungen aus dem Projekt .....</b>	<b>66</b>

## **2 Kurze Darstellung der Aufgabenstellung**

Ziel der Forschungsarbeiten war die Erforschung und Entwicklung eines innovativen Verfahrens der organischen Gasphasenbeschichtung (OVPD<sup>®</sup>), um hoch effiziente OLED Bauelemente mit hohen Ausbeuten und hohem Durchsatz herzustellen. Diese OLED Bauelemente sind die Grundlage zur Herstellung von organischen Leuchtkacheln für die Fertigung von neuen, effizienten Lampen. Dabei werden die für Beleuchtungsanwendungen notwendigen niedrigen Herstellungskosten von wenigen Cent pro cm<sup>2</sup> angestrebt. Hierfür wurde ein neues Design der OVPD<sup>®</sup> Anlagentechnologie untersucht, welches auf einem vertikalen In-Line Konzept basiert, auf Beschichtungsflächen von Gen4 (750 x 920 mm<sup>2</sup>) skaliert wurde und kompatibel mit In-Line Vakuummodulen von Applied Films, heute Applied Materials (AMAT), ist. Weiterhin wurde ein neues Quellendesign entwickelt, gebaut und evaluiert, welches hohe Raten und somit kurze Taktzeiten für vertikale OVPD Gen4 Produktionsanlagen ermöglicht.

Weiterhin wurden Aspekte zur Wechselwirkung und der Flexibilität so einer Produktionsanlage mit den anderen, vor- oder nach gelagerten Prozessschritten evaluiert. Die bevorzugt einzusetzenden organischen Materialsysteme und diesbezüglich optimierter Bauelementstrukturen, sowie für die Produktion relevante Aspekte wie Vermeidung von Partikeln, Homogenität und Langzeitstabilität der OVPD Technologie wurden bearbeitet.

Zusammen mit Philips wurden an einer bestehenden OVPD Gen1 Anlage verschiedene Hardwaremodifikationen evaluiert und im Prozess untersucht. Fragen der Langzeitstabilität von Kernkomponenten sind adressiert und zusammen bearbeitet worden ebenso die Optimierung von organischen Einzelfilmen und OLED Schichtstapeln mit Hilfe der OVPD spezifischen Abscheideparametern und erhöhter Prozessflexibilität. Dabei wurden tiefgreifend alle auftretenden physikalischen und chemischen Fragestellungen erforscht. Neben monochromen OLEDs wurden auch OLEDs mit zwei oder drei optischen Dotierstoffen und weißer Emission untersucht. Weiterhin wurden von BASF entwickelte organischen Materialien im Rahmen der prozesstechnischen Vorqualifizierung untersucht.

Dieses Vorgehen innerhalb des Verbundprojekts zeigt die interaktiven Arbeiten im Bereich der Entwicklung von organischen OLEDs und zukünftigen innovativen, effizienten organischen Lampen. Diese Arbeiten sind notwendige Grundlage für den Start einer OLED Lampenfertigung.

Die Entwicklung einer OVPD<sup>®</sup> Produktionstechnologie für organische Leuchtkacheln ist das langfristige Verwertungsziel von AIXTRON.

### 3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bekannte Herstellungsmethoden für organische LEDs (OLEDs) sind das Lösungsmittelunterstützte aufbringen von optisch aktiven Polymeren auf der einen Seite und das Aufdampfen von sogenannten kleinen Molekülen im Hochvakuum (VTE) oder mittels Trägergasunterstützter Abscheidung im Feinvakuum (OVPD). Vor Projektstart zeigte der Ansatz der kleinen Moleküle im Vergleich mit dem Polymerbasierten Ansatz deutlich höhere Leistungseffizienzen und Lebensdauern und dieser Trend wurde u.a. durch die Arbeiten innerhalb des OPAL Projektes bestätigt und verstärkt.

Die Herstellungsverfahren für OLED basieren meist auf Cluster Technologien mit horizontaler Anordnung des Substrats. Solche horizontalen Cluster Anlagen der Gen2 sind auch für die OVPD Technologie zu Beginn des Projektes Stand der Technik. Diese Art der Fertigung hat i.A. Limitierungen im Durchsatz (diskontinuierliche Beschichtung mit hohen Transferzeiten) und in der Handhabung großer sich durchbiegender Substrate. Als Alternative zu horizontalen Systemen wird daher als Ansatz für große Substrate (Gen4) und hohen Durchsatz ein vertikales Liniensystem gewählt, wie es bereits vom Projektpartner Applied Films (heute AMAT) für die LCD Fertigung hergestellt wurde.

Die prinzipielle Eignung der OVPD als Verfahrenstechnik für die Herstellung von OLED, die dem Stand der Technik entsprechen, ist nachgewiesen.

Durch den Gasphasentransport mit Entkoppelung der Verdampfung im Container von der Kondensation auf dem Substrat bietet sich die Möglichkeit alle Prozessparameter besser zu kontrollieren und auch komplexere Bauelementstrukturen zu realisieren. Die skalierbare OVPD mit Close Coupled Showerhead (CCS) Technologie bietet damit eine bessere Schichtdickenkontrolle und eine gezielte Dotierungskontrolle bei hoher Materialeffizienz und die Möglichkeit die Schichtmorphologie durch die drei Depositionsparameter *Rate*, *Substrattemperatur* und *Depositionsdruck* kontrolliert zu beeinflussen. Erste Ergebnisse zum Einfluss der Abscheidparameter auf die physikalischen Eigenschaften der abgeschiedenen organischen Filme liegen vor und lassen den Schluss zu, dass mit diesen Optionen die Bauelementeigenschaften gezielt beeinflusst werden können. Diese Evaluierungen und OLED Optimierungen können an einer OVPD Gen1 Anlage bei Philips durchgeführt werden. Für weitere unterstützenden Arbeiten steht ein Labor Anlage mit Gen1-ähnlicher Substratgröße im AIXTRON Labor zur Verfügung.

AIXTRON hat exklusiv die weltweiten Vermarktungsrechte und Patente zum OVPD-Prozess erworben. Darüber hinaus besitzt AIXTRON auch eigene Prozess- und Anlagen-Patente zur OVPD-Technologie um dieses Herstellungsverfahren weiter zu entwickeln.

Zur objektiven Evaluierung der neuen verfahrenstechnischen Anlage mussten die geeigneten Partner gefunden werden. Die Anforderungen und Bewertung von zukünftigen Anlagen für die