



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIV
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einführung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Organische Leuchtdioden	5
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise	5
2.1.2 Degradation organischer Leuchtdioden	7
2.1.3 Moderne Verkapselungskonzepte	8
2.2 Verdampfung, Kondensation und relative Feuchte	9
2.2.1 Adsorption und Desorption	11
2.3 Grundlagen der Permeation	13
2.4 Dünnschichtbarrieren	15
2.4.1 Permeation durch eine einzelne Barrierschicht	15
2.5 Permeationsmessung	18
2.5.1 Dünnschicht-Gaspermeationsbarrieren	21
2.5.2 Kommerzielle Barrierschichtsysteme und Laminate-Modell	23
3 Atomlagenabscheidung	25
3.1 ALD-Präkursoren	25
3.2 ALD-Zyklus	28
3.3 ALD-Wachstum	29
3.4 ALD-Prozesse	32
3.5 Einsatz von ALD-Schichten und Stand der Wissenschaft	33
3.5.1 Statische ALD bei Atmosphärendruck	34
3.5.2 Räumliche ALD bei Atmosphärendruck	35

4	Anlagentechnik und Präkursormaterialien	39
4.1	Aufbau der räumlichen ALD-Anlage	39
4.2	Mikrowellenplasmaquelle	43
4.2.1	Remote-Plasmaquelle	44
4.2.2	Direktplasmaquelle	44
4.3	Eigenschaften verwendeter Präkursoren	47
4.3.1	Metallpräkursoren	47
4.3.2	Co-Reaktanten	50
5	Analysetechniken	55
5.1	Ozonkonzentrationsmessung	55
5.2	Rasterkraftmikroskopie - AFM	55
5.3	Röntgenreflektometrie - XRR	56
5.4	Ellipsometrie	56
5.5	UV-Vis und FTIR-Transmissionsspektroskopie	57
5.6	Kontaktwinkelmessung und Oberflächenenergie	58
5.7	Bestimmung der Permeationsraten	59
6	Prozess- und Schichtcharakterisierung	63
6.1	Aluminiumoxidschichten	63
6.1.1	Trimethylaluminium und Wasser	64
6.1.2	Trimethylaluminium und Ozon	71
6.1.3	Trimethylaluminium und das He/O ₂ -Remoteplasma	76
6.1.4	Trimethylaluminium und das He/O ₂ -Direktplasma	78
6.1.5	Einführung der Präkursordosis	79
6.1.6	Materialausnutzung von TMA	82
6.2	Zirkoniumoxidschichten	83
6.3	Siliziumoxidschichten	86
6.4	Silizium-Aluminium-Oxidschichten	88
7	Barriereigenschaften und Schichtdegradation	93
7.1	Barrierschichten auf Glassubstraten	93
7.1.1	Chemische Stabilität der Barrierschichten	93
7.1.2	Intrinsische Wasserpermeationsrate	98
7.2	Barriersysteme auf Polymerfolien	100
7.2.1	Stabilität und intrinsische Wasserpermeationsrate	101
7.2.2	Integrale Permeationsmessung	103

8 Mechanische Belastbarkeit der Barrierschichten	107
8.1 Biegeverfahren und Probenpräparation	108
8.2 Mechanische Biegefestigkeit von Einzelschichten	109
8.3 Mechanische Biegefestigkeit von Mehrschichtsystemen	112
9 Verkapselung organischer Leuchtdioden	115
9.1 Direktverkapselung von OLEDs	115
9.2 Verkapselung mittels Barrierefolie	118
Zusammenfassung	121
Literaturverzeichnis	127
Anhang	147
A Substrate und Substratvorbehandlung	147
B Simulation der Gasflussverteilung im ALD-Modul	148
C Nanolaminatabscheidung an der Savannah200	150
D Calciumbedampfung und Calcium-Transmissionsbestimmung	152
E OLED-Verkapselung mit selbst hergestellter Barrierefolie	154
Veröffentlichungsliste	155
Lebenslauf	157