Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Einführung in die Molekularstrahlepitaxie **5**
2.1 Aufbau der MBE-Anlage 6
2.2 Probleme durch die fehlende Probenrotation 8
2.3 Notwendigkeit von Ultrahochvakuumbedingungen 9
2.4 Messung des Teilchenflusses 10
2.5 Eichung der Substrattemperatur 12
2.6 Nachteile der MBE gegenüber anderen Verfahren 13
2.7 Vorgänge auf der Wachstumsoberfläche 14
2.7.1 Physisorption und Chemisorption 15
2.7.2 Wachstumsarten 16

3 In-situ-Wachstumskontrolle durch RHEED **19**
3.1 Technische Merkmale 19
3.2 Das Elektronenbeugungsbild 20
3.2.1 Kinematische Streutheorie 20
3.2.2 Zinkblendestruktur 25
3.2.3 Oberflächenrekonstruktionen 26
3.3 RHEED-Oszillationen 27
3.3.1 Modelle zur Erklärung der RHEED-Oszillationen 30

4 Materialien **35**
4.1 II-VI-Verbindungshalbleiter 35
4.1.1 Defekte in Epitaxieschichten 37
4.1.2 Berechnung der kritischen Schichtdicke 39
4.2 ZnSe 41
4.3 $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 43
4.3.1 $Zn_{1-x}Mn_xSe$ als semimagnetischer Halbleiter 43
4.3.2 Magnetische Ordnung 46
4.3.3 Kristallstruktur und Bandstruktur von ZnMnSe 46
4.4 CdSe und ZnMgSe 48

5 Heterostrukturen **49**
5.1 Quantenfilmstrukturen 49
5.2 Elektronische Zustände in einem Potentialtopf endlicher Tiefe 52

6 Ergebnisse des Probenwachstums **55**
6.1 Präparation und Deoxidation von (001)-Substraten für das Schichtwachstum in der MBE 55
6.2 Präparation und Deoxidation von (111)-Substraten und vorstrukturierte Proben 56
6.3 Präparation von Proben mit III-V-Schichtfolge 57
6.4 Flüsse der Effusionszellen 57
6.5 Bestimmung der Komposition 59
6.5.1 Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX) 60
6.5.2 Particle-induced X-ray emission (PIXE) 61
6.5.3 Rutherford backscattering (RBS) 61
6.6 Röntgendiffraktometrie 62
6.7 Bestimmung der Probendicken und Wachstumsraten 66
6.8 Lumineszenz 69
6.8.1 Kanäle für die strahlende Rekombination 70
6.8.2 Lumineszenzuntersuchungen an $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 72
6.9 Absorptionsmessungen an $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 75
6.9.1 Präparation von $Zn_{1-x}Mn_xSe$-Proben für Absorptionsmessungen 75
6.9.2 Absorptionsspektren 76
6.10 Photolumineszenz-Anregungsmessungen an $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 78

7 Strukturelle Eigenschaften von Volumenschichten und Heterostrukturen **81**
7.1 ZnSe- und MnSe-Schichten 81
7.2 CdSe-Quantenfilme 85
7.3 Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen an $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 92
7.4 RHEED-Untersuchungen an dünnen ZnSe- und MnSe-Schichten . . . 95

8 Dotierung und elektrische Charakterisierung **103**
8.1 Leitfähigkeit, Ladungsträgerkonzentration und Mobilität 103
8.2 Hall-Effekt 105
8.3 Die van-der-Pauw-Methode 106
8.3.1 Bestimmung des spezifischen Widerstandes 108
8.3.2 Bestimmung der Ladungsträgerkonzentration und der Mobilität 110
8.4 Metall-Halbleiter-Übergang 112
8.5 Kleeblatt-Strukturierung der dotierten Proben 113
8.6 Dotierung von $Zn_{1-x}Mn_xSe$ 117

8.7 Infrarot-optische Reflexionsmessungen an $Zn_{1-x}Mn_xSe$-Proben . . . 121
8.8 Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerkonzentration 124

9 Spinaligner und Spin-Leuchtdioden 131
9.1 Spinaligner 131
9.1.1 $Zn_{1-x}Mn_xSe$ als Spinaligner 132
9.1.2 Übergitter als alternative Spinaligner 137
9.2 Optische Spininjektion 140
9.3 Spin-Leuchtdioden 142

10 Weitere Untersuchungen an den hergestellten Proben, Zusammenfassung und Ausblick 147
10.1 Proben für andere Arbeitsgruppen 147
10.2 Zusammenfassung 148
10.3 Ausblick 150

Publikationen 153

Literaturverzeichnis 159

Danksagung 171