

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Durchstimbare Laser . . . . .   | 1         |
| 1.2      | Organische Halbleiterlaser . . . . .                                      | 3         |
| 1.3      | Gliederung der Arbeit . . . . .   | 4         |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1      | Organische Halbleiter . . . . .   | 7         |
| 2.1.1    | Verschiedene Klassen organischer Halbleiter . . . . .                     | 9         |
| 2.1.2    | Optische Eigenschaften . . . . .  | 10        |
| 2.1.3    | Elektrische Eigenschaften . . . . .                                       | 16        |
| 2.2      | Organische Laser . . . . .  | 17        |
| 2.2.1    | Optische Verstärkung . . . . .  | 17        |
| 2.2.2    | Verstärkte spontane Emission . . . . .                                    | 20        |
| 2.2.3    | Resonatoren für organische Laser . . . . .                                | 21        |
| 2.2.4    | Verlustprozesse in organischen Lasern . . . . .                           | 22        |
| 2.2.5    | Pumpquellen für organische Laser . . . . .                                | 27        |
| 2.3      | Organische DFB-Laser . . . . .  | 32        |
| 2.3.1    | Planare Wellenleiter . . . . .  | 32        |
| 2.3.2    | Modellierung von DFB-Lasern: Bragg-Streuung . . . . .                     | 35        |
| 2.3.3    | Modellierung von DFB-Lasern: Theorie der gekoppel-<br>ten Moden . . . . . | 38        |
| 2.4      | Flüssigkristalle . . . . .  | 48        |
| <b>3</b> | <b>Herstellungsprozesse</b>   | <b>53</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.1      | Laserinterferenzlithografie . . . . .   | 53         |
| 3.2      | Elektronenstrahlolithografie . . . . .  | 57         |
| 3.3      | Nanoreplikation durch Heißprägen . . . . .  | 58         |
| 3.4      | Nanostrukturtransfer . . . . .  | 60         |
| 3.5      | Aufdampfen . . . . .  | 61         |
| 3.6      | Lösungsbasierte Prozessierung . . . . .   | 63         |
| 3.6.1    | Aufschleudern . . . . .   | 64         |
| <b>4</b> | <b>Verwendete Materialien</b>   | <b>65</b>  |
| 4.1      | Das Gast-Wirt-System Alq <sub>3</sub> :DCM . . . . .                                  | 65         |
| 4.2      | Das Spiro-Bifluoren Spiro-6-Phenyl . . . . .  | 68         |
| 4.3      | Die kleine Molekül-Polymermischung PVK:CBP:BSB-Cz . . . .                             | 69         |
| 4.4      | Der Laserfarbstoff Pyrromethen 597 . . . . .  | 71         |
| 4.5      | Das konjugierte Polymer F8BT . . . . .  | 72         |
| 4.6      | Die konjugierte Polymermischung F8BT:MEH-PPV . . . . .                                | 74         |
| 4.7      | Die Flüssigkristalle MLC-3007 . . . . .   | 76         |
| <b>5</b> | <b>Durchstimbare organische Halbleiterlaser – Variation der Resonatorgeometrie</b>    | <b>79</b>  |
| 5.1      | Variation der Gitterperiode . . . . .   | 79         |
| 5.1.1    | Diskrete Variation der Gitterperiode . . . . .  | 80         |
| 5.1.2    | Kontinuierliche Variation der Gitterperiode . . . . .                                 | 81         |
| 5.2      | Variation der Schichtdicke . . . . .  | 83         |
| 5.2.1    | Stand der Technik . . . . .   | 83         |
| 5.2.2    | Schichtdickenvariation durch Aufdampfen mit einer rotierenden Schattenmaske . . . . . | 84         |
| 5.2.3    | Schichtdickenvariation durch horizontale Tauchbeschichtung . . . . .                  | 95         |
| 5.3      | Diskussion . . . . .  | 104        |
| <b>6</b> | <b>Durchstimbare organische Halbleiterlaser – Dynamische Brechungsindexvariation</b>  | <b>109</b> |
| 6.1      | Stand der Technik . . . . .   | 110        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.2      | Optofluidisches Durchstimmen . . . . .   | 112        |
| 6.2.1    | Probendesign . . . . .   | 113        |
| 6.2.2    | Optische Charakterisierung . . . . .   | 113        |
| 6.2.3    | Ergebnisse . . . . .   | 114        |
| 6.2.4    | Diskussion . . . . .   | 115        |
| 6.3      | Durchstimmbarkeit mit Flüssigkristallen . . . . .                                    | 116        |
| 6.3.1    | Probenaufbau . . . . .   | 116        |
| 6.3.2    | Messaufbau für die optische Charakterisierung . . . . .                              | 118        |
| 6.3.3    | Ergebnisse . . . . .   | 120        |
| 6.4      | Diskussion . . . . .   | 129        |
| <b>7</b> | <b>Durchstimbare organische DFB-Laser für die Anwendung</b>                          | <b>131</b> |
| 7.1      | Stand der Technik . . . . .  | 131        |
| 7.2      | Optische Spektroskopie . . . . .   | 133        |
| 7.2.1    | Messaufbau und Verkapselung . . . . .  | 133        |
| 7.2.2    | Experimentelle Ergebnisse . . . . .  | 135        |
| 7.3      | Effizienz optisch angeregter organischer DFB-Laser . . . . .                         | 138        |
| 7.3.1    | Überblick . . . . .  | 138        |
| 7.3.2    | Experimentelle Ergebnisse . . . . .  | 139        |
| 7.4      | Kontinuierlich durchstimbare, anorganisch-organische<br>Hybrid-Laserdioden . . . . . | 145        |
| 7.4.1    | Aufbau . . . . .   | 146        |
| 7.4.2    | Experimentelle Ergebnisse . . . . .  | 146        |
| 7.4.3    | Betriebslebensdauer von Hybrid-Laserdioden . . . . .                                 | 149        |
| 7.5      | Diskussion . . . . .   | 150        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>153</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>159</b> |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>   | <b>193</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>A</b> | <b>Anhang: Kelch-Mikroresonatoren für organische Halbleiterlaser</b>                | <b>195</b> |
| A.1      | Rotationssymmetrische Laserresonatoren . . . . .                                    | 195        |
| A.2      | Stand der Technik . . . . .   | 196        |
| A.3      | Herstellung . . . . .   | 198        |
| A.4      | Aufbau für die optische Charakterisierung . . . . .                                 | 199        |
| A.5      | Experimentelle Ergebnisse . . . . .   | 201        |
| A.6      | Diskussion . . . . .  | 203        |
| <b>B</b> | <b>Anhang: Übersicht ausgewählter Methoden für die Durchstimmung von DFB-Lasern</b> | <b>205</b> |
| <b>C</b> | <b>Anhang: Rezepte</b>  | <b>209</b> |
| C.1      | Laser-Interferenz-Lithografie . . . . .   | 209        |
| C.2      | Reaktives Ionenätzen . . . . .  | 210        |
|          | <b>Danksagung</b>   | <b>213</b> |
|          | <b>Publikationsliste</b>  | <b>217</b> |