

Terahertz-Bildgebung mit demodulierendem Detektorarray

Von der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der
Universität Siegen

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

genehmigte
DISSERTATION
vorgelegt von

Dipl.-Ing. Gunnar Spickermann
geboren am 17. Dezember 1979 in Siegen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	5
2.1	Optische Abbildungen	5
2.1.1	Ortsauflösung	5
2.1.2	Bildentstehung im Nahfeld	8
2.1.3	Experimentelle Bestimmung des Auflösungsvermögens	9
2.1.4	Dynamik	10
2.2	Der THz-Spektralbereich	11
2.2.1	Ursachen der Lücke	13
2.2.2	Verschiedene Quellen und Detektoren	14
2.3	Der elektrooptische Effekt	17
2.3.1	Polarisation und Doppelbrechung	18
2.3.2	Optimale Kristallorientierungen	24
2.3.3	Feldinduzierte Phasenverschiebung	26
2.3.4	Optisches Abtasten des Detektorkristalls	31
2.3.5	Linearität	40
2.3.6	Kohärenzlänge	42
2.4	Charakterisierungskriterien	45
2.5	Theoretische Limitierungen der induzierten Modulationstiefe	46
3	Die PMD-Kamera als demodulierendes Detektorarray	49
3.1	Aufbau und Funktionsweise	50
3.1.1	Demodulation im PMD-Pixel	50
3.1.2	Hintergrundlichtunterdrückung - SBI	52
3.2	Verwendung in der THz-Bildgebung	53
3.3	Charakterisierung	56
4	Elektrooptische THz-Bildgebung	59
4.1	Vereinfachte Darstellung des elektrooptischen Messprinzips	59
4.1.1	Frequenzen und Signale	62
4.2	Prinzipielle Versuchsaufbauten	63
4.3	THz-Bildgebungsaufbauten aus der Literatur	65
4.3.1	Elektrooptische Arrays	66
4.3.2	Bildgebung im Nahfeld	69
4.3.3	Inkohärente Methoden	69
4.3.4	Stand der Technik	70

5 THz-Bildgebung im Fernfeld	71
5.1 Aufbau und Funktionsprinzip	71
5.2 Messungen	72
5.2.1 Fokussierter THz-Strahl	73
5.2.2 Strahlprofil der THz-Beleuchtung	75
5.2.3 Bestimmung der lateralen Auflösung mittels Teststrukturen	78
5.3 Optimierung und Charakterisierung	80
5.3.1 Vergleich mit theoretischen Berechnungen und Kalibration	83
6 THz-Bildgebung im Nahfeld	87
6.1 Aufbau und Funktionsprinzip	87
6.1.1 Detektorkristall ohne hochreflektierende Beschichtung	89
6.2 Messungen	91
6.2.1 Strahlprofil	91
6.2.2 Bestimmung der lateralen Auflösung mittels Teststrukturen	92
6.2.3 Beispielanwendung: Messungen an einem Biochip	94
6.3 Charakterisierung	98
7 Fazit	101
7.1 Dynamik	101
7.2 Laterale Auflösung	104
7.3 Optimierungspotential	106
7.4 Zusammenfassung und Ausblick	107
A Rotation des Index-Ellipsoiden	109
B Empfindlichkeit von Kristallen der $\bar{4}3m$-Klasse für andere Feldkomponenten	111
C Empfindlichkeit von Kristallen der $3m$-Klasse für andere Feldkomponenten	113
D Optimierung der Modulationstiefe	115
E Photokonduktiver Emmitter	119
F Strahlprofil eines fokussierten Strahles	123
G Powermeter	125
Literaturverzeichnis	127