

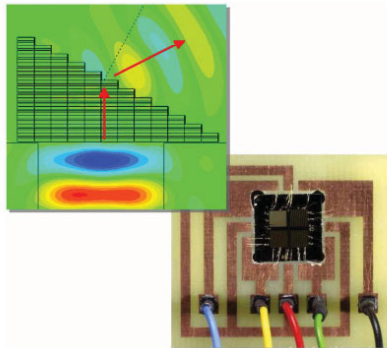


Christian Imhof (Autor)

Entwurf und Charakterisierung von Metamaterialien und quasioptischen Bauelementen für Mikrowellen- und Terahertz-Strahlung

Christian Imhof

Entwurf und Charakterisierung von
Metamaterialien und quasioptischen
Bauelementen für Mikrowellen-
und Terahertz-Strahlung



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/987>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung..... | 9 |
| 2 | Materialien mit negativem Brechungsindex | 13 |
| 2.1 | Identifizierung negativ brechender Medien | 13 |
| 2.1.1 | Reelle Materialparameter | 13 |
| 2.1.2 | Verallgemeinerung für komplexe Materialparameter..... | 17 |
| 2.2 | Entropiebedingung bei negativem Brechungsindex | 21 |
| 2.3 | Die Randbedingungen | 23 |
| 2.3.1 | Randbedingungen für die Feldgrößen..... | 23 |
| 2.3.2 | Randbedingungen für die Wellenvektoren | 25 |
| 2.3.3 | Fresnel Koeffizienten..... | 27 |
| 2.4 | Negative Brechung..... | 28 |
| 2.4.1 | Planparallele Linsen..... | 28 |
| 2.4.2 | Umkehr der Eigenschaften gewöhnlicher Linsen | 31 |
| 2.5 | Die perfekte Linse | 33 |
| 2.5.1 | Evaneszente Wellen | 33 |
| 2.5.2 | Begrenzung der Auflösung gewöhnlicher Linsen..... | 35 |
| 2.5.3 | Die linkshändige Planplatte als perfekte Linse..... | 36 |
| 2.5.4 | Einschränkungen in der Praxis..... | 39 |
| 2.6 | Historischer Überblick | 40 |
| 3 | Metamaterialien | 43 |
| 3.1 | Grundkonzept und Definition eines Metamaterials | 43 |
| 3.2 | Dielektrische Metamaterialien | 45 |
| 3.2.1 | Metalle als Materialien mit negativer Permittivität | 45 |
| 3.2.2 | Die „Thin Wire“ Struktur..... | 47 |
| 3.2.3 | Die „Cut-Wire“ Struktur | 52 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3 | Magnetische Metamaterialien | 54 |
| 3.3.1 | Metallische Zylinder..... | 54 |
| 3.3.2 | Der „Split-Ring Resonator“ | 58 |
| 3.3.3 | Draht- und Plattenpaare als magnetische Metamaterialien | 60 |
| 3.4 | Metamaterialien mit einem negativen Brechungsindex | 62 |
| 3.4.1 | Linkshändige Metamaterialien für Mikrowellen..... | 63 |
| 3.4.2 | Negativ brechende Materialien bei optischen Frequenzen..... | 64 |
| 3.4.2.1 | Die „Cut-Wire Pair“ Struktur für negative Brechung | 64 |
| 3.4.2.2 | Die Fischnetz Struktur..... | 65 |
| 3.5 | Analyse und Charakterisierung von Metamaterialien..... | 66 |
| 3.5.1 | Interpretation der Transmissions- und Reflexionskurven | 66 |
| 3.5.2 | Bestimmung der Parameter mit Hilfe interner Felder | 68 |
| 3.5.2.1 | Die Feldmittelungsmethode..... | 68 |
| 3.5.2.2 | Bestimmung der Parameter über den internen Feldverlauf..... | 69 |
| 3.5.3 | Inversion der Streuparameter | 71 |
| 3.5.3.1 | Die klassische Inversionsmethode..... | 72 |
| 3.5.3.2 | Die erweiterte Inversionsmethode..... | 75 |
| 4 | Die Doppel-Kreuz Struktur | 77 |
| 4.1 | Geometrischer Aufbau und Funktionsprinzip | 77 |
| 4.2 | Numerische Verifikation des negativen Brechungsindex | 78 |
| 4.3 | Realisierung des Metamaterials im Mikrowellenbereich..... | 85 |
| 4.3.1 | Einfluss des Hintergrundmaterials | 86 |
| 4.3.2 | Anpassung der Strukturparameter | 90 |
| 4.3.3 | Experimentelle Bestätigung der negativen Refraktion..... | 92 |
| 4.3.3.1 | Implementierung des Metamaterials und des Messaufbaus | 92 |
| 4.3.3.2 | Experimentelle Ergebnisse | 95 |
| 4.4 | Adaption der Geometrie für Wellen im Terahertz-Bereich | 100 |
| 4.4.1 | Fabrikation der Doppel Kreuze | 101 |
| 4.4.2 | Numerische und experimentelle Ergebnisse | 104 |
| 4.4.3 | Parameterstudien | 110 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 5 | Funktionselemente für Terahertz-Strahlung | 119 |
| 5.1 | Doppelbrechende Metamaterialien | 119 |
| 5.1.1 | Inhomogene Kreuze | 119 |
| 5.1.1.1 | Vorstellung und Bestätigung der prinzipiellen Funktionalität..... | 119 |
| 5.1.1.2 | Entwurf einer kompakten $\lambda/4$ -Verzögerungsplatte..... | 123 |
| 5.1.2 | Drahtpaare | 125 |
| 5.1.2.1 | Untersuchung der doppelbrechenden Eigenschaften | 126 |
| 5.1.2.2 | Konstruktion ultrakompakter Verzögerungsplatten..... | 128 |
| 5.1.3 | Mäander Verzögerungsplatten im THz-Bereich | 132 |
| 5.2 | Schaltbare Metamaterialien..... | 137 |
| 5.2.1 | Elektrisch schaltbare Kreuze..... | 138 |
| 5.2.1.1 | Layout und Funktionsprinzip..... | 138 |
| 5.2.1.2 | Elektrische Charakterisierung des Bauteils..... | 140 |
| 5.2.1.3 | Transmissionsverhalten des schaltbaren Metamaterials | 143 |
| 5.2.2 | Optisch schaltbare Metamaterialien..... | 148 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 155 |
| 7 | Summary..... | 159 |
| 8 | Anhang..... | 161 |
| 8.1 | Liste häufig verwendeter Abkürzungen..... | 161 |
| 8.2 | Literaturverzeichnis..... | 161 |

