

THIEMIG-TASCHENBÜCHER · BAND 61

Optische Holographie

**Theoretische und experimentelle
Grundlagen und Anwendung**

Optical Holography

Theoretical and experimental
principles and application

Von RNDr. MIROSLAV MILER

2. Auflage,
neubearbeitet und ergänzt



VERLAG KARL THIEMIG · MÜNCHEN

HERAUSGEBER
DER THIEMIG-TASCHENBÜCHER
PROF. DR. DR. E. h. W. HANLE, GIESSEN
PROF. DR. M. POLLERMANN, JÜLICH

Titel der tschechischen Originalausgabe:
Holografie (teoretické a experimentální základy a její použití).
Aus dem Tschechischen übersetzt von RNDr. Karel Habersberger

Das Buch ist in Zusammenarbeit mit dem SNTL
Verlag Technischer Literatur, Prag, ČSSR, erschienen.

ISBN 3-521-06114-0

Alle, Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Ohne Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses
Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie,
Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen.

© 1974 RNDr. Miroslav Miler, CSc., Prag
© 1978 Verlag Karl Thiemig AG, München, Printed in Germany.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Grundlagen der Holographie	5
1.1. Die optische Information und ihre Speicherung	5
1.1.1. Die optische Abbildung	5
1.1.2. Eigenschaften des Abbildungselementes	7
1.1.3. Aufzeichnung des Bildes	9
1.1.4. Das stereoskopische Sehen	12
1.1.5. Die Integralfotografie	14
1.2. Die physikalischen Grundlagen der Holographie und ihre historische Entwicklung	16
1.2.1. Das Prinzip der Holographie	16
1.2.2. Die zur Entdeckung der Holographie führende Entwicklung	19
1.2.3. Die Gabor'sche holographische Methode	21
1.2.4. Der Zeitraum zwischen der Entdeckung der Holographie und der Anwendung des Lasers	24
1.2.5. Die moderne Holographie	26
Literatur	30
2. Die holographische Aufnahme und Rekonstruktion	32
2.1. Das Interferenzfeld	32
2.1.1. Die Lichtwellen	32
2.1.2. Die Überlagerung von Wellen gleicher Richtung	39
2.1.3. Das Interferenzfeld von zwei ebenen Wellen	44
2.1.4. Das Interferenzfeld von zwei Kugelwellen	47
2.2. Die Aufzeichnung des Interferenzfeldes	52
2.2.1. Das Eindringen des Feldes in das Aufzeichnungsmedium	52
2.2.2. Die Feldenergie und ihr Nachweis	58
2.2.3. Die Amplituden- und Phasenaufzeichnung	61
2.2.4. Die Volumen- und Flächenaufzeichnung	63
2.3. Das Entstehen des dünnen Hologramms und die entsprechende Rekonstruktion	65
2.3.1. Die holographische Aufnahme eines ebenen Gegenstandes (das Fresnel'sche Hologramm)	65
2.3.2. Rekonstruktion aus einem dünnen Hologramm	69

2.3.3.	Das Fraunhofersche Hologramm und das Winkelspektrum des Hologramms	73
2.3.4.	Die Fouriersche und die linsenlose Fouriersche holographische Aufnahme	76
2.3.5.	Die holographische Aufnahme bei klassischer Abbildung – das Bildfeldhologramm	84
2.4.	Rekonstruktion der Wellenfläche aus einem dicken Hologramm	89
2.4.1.	Beugung an einem dreidimensionalen Hologrammgitter	89
2.4.2.	Rekonstruktionsbedingungen an einem Hologrammgitter	93
2.4.3.	Besondere Fälle der Rekonstruktion	97
2.4.4.	Abhängigkeit von der Richtung und der Wellenlänge der Rekonstruktionswelle	99
2.5.	Der Wirkungsgrad des Hologramms	104
2.5.1.	Die Definition des Wirkungsgrades der Hologramme	104
2.5.2.	Der Wirkungsgrad eines ebenen Amplitudenhologramms	105
2.5.3.	Der Wirkungsgrad eines ebenen Phasenhologramms	107
2.5.4.	Der Wirkungsgrad von Volumen-Phasenhologrammen	109
2.5.5.	Der Wirkungsgrad von Volumen-Amplitudenhologrammen	112
	Literatur	114

3. Die Eigenschaften von Flächenhologrammen 116

3.1.	Das Hologramm eines Punktes	116
3.1.1.	Das Entstehen des Hologrammes eines Punktes	116
3.1.2.	Die Rekonstruktion des Hologrammes eines Punktes	119
3.2.	Abbildung durch ein Flächenhologramm	120
3.2.1.	Die Abbildungsformel	120
3.2.2.	Die Charakteristik des Bildes	123
3.2.3.	Einige ausgewählte Fälle der holographischen Abbildung	125
3.2.4.	Geometrische Konstruktion in der holographischen Abbildung	128
3.3.	Die Eigenschaften des holographischen Bildes	132
3.3.1.	Die geometrische Bildvergrößerung	132

3.3.2. Die Schärfentiefe der Abbildung	134
3.3.3. Die Raumcharakteristik des Bildes	136
3.3.4. Das Auflösungsvermögen der Holographie	138
3.4. Optische Aberrationen der holographischen Abbildung.	141
3.4.1. Aberrationen der dritten Ordnung	141
3.4.2. Analyse der Aberrationen der holographischen Ab- bildung	144
Literatur	149

4. Das holographische Experiment 150

4.1. Der stationäre Charakter des Interferenzfeldes	150
4.1.1. Die technische Sicherung der Starrheit der holo- graphischen Anordnung	150
4.1.2. Das Anbringen der Hilfselemente der holo- graphischen Experimente	152
4.1.3. Die Kontrolle der Stabilität des Interferenzfeldes	153
4.2. Holographische Methoden und deren optische An- ordnung	155
4.2.1. Die Gaborsche Methode und die Methode der Wellen- flächenteilung	155
4.2.2. Die Methode der Amplitudenteilung	158
4.2.3. Die holographische Anordnung bei der Amplituden- teilungsmethode	160
4.2.4. Spezielle und kompliziertere holographische An- ordnungen	164
4.3. Die Teilung des Laserbündels	167
4.3.1. Allgemein über die Teilung der Amplitude	167
4.3.2. Die dielektrische Schicht mit natürlichen Grenz- flächen	169
4.3.3. Die halbdurchlässige Platte	172
4.3.4. Teilung mit einem Doppelbrechungskristall	173
4.4. Die Bearbeitung der Lichtbündel	175
4.4.1. Das Gaußsche Bündel	175
4.4.2. Vergrößerung der Divergenz des Bündels	176
4.4.3. Die Kollimation des Bündels	178
4.4.4. Optische Filtration mit Brennpunkt-Lochblende	180
4.4.5. Die Vorrichtung zur optischen Filtration	184
4.5. Die Objektbeleuchtung	187

4.5.1. Inkohärente Streuung und Interferenzkörnigkeit	187
4.5.2. Direkte und diffuse Beleuchtung	190
4.5.3. Beseitigung der Interferenzkörnigkeit	192
Literatur	193

5. Lichtquellen und Aufnahmemedien für die Holographie 195

5.1. Lichtquellen	195
5.1.1. Die an Lichtquellen für die Holographie gestellten Anforderungen	195
5.1.2. Klassische Lichtquellen	198
5.1.3. Funktionsprinzip des Lasers	202
5.1.4. Der Resonator und seine Eigenschaften	211
5.1.5. Selektion der Schwingungsmoden	220
5.1.6. Laser für holographische Zwecke	224
5.2. Aufnahmemedien	228
5.2.1. Die an die holographischen Aufnahmemedien gestellten Forderungen	228
5.2.2. Die Transmissionskennlinie	230
5.2.3. Die optische Übertragungsfunktion	234
5.2.4. Fotografisches Material	238
5.2.5. Photochrome Materialien	245
5.2.6. Andere Aufnahmemedien	248
5.2.7. Das Kopieren von Hologrammen	250
Literatur	251

6. Anwendungen der Holographie 254

6.1. Die holographische Interferometrie	254
6.1.1. Das Prinzip der holographischen Interferenz	254
6.1.2. Die Methode der Doppelbelichtung	259
6.1.3. Die Methode eines einzigen Hologramms	263
6.1.4. Die Interferometrie von beweglichen Gegenständen	266
6.1.5. Die stroboskopische holographische Interferometrie	271
6.1.6. Die holographische Topographie	273
6.2. Holographische optische Elemente	276
6.2.1. Zonenplatten	276
6.2.2. Holographische Gitter	279

6.2.3. Die holographische Korrektur optischer Aberrationen	281
6.3. Holographische Informationsbearbeitung	283
6.3.1. Holographische Speichersysteme	283
6.3.2. Verschlüsselung der räumlichen Information	288
6.3.3. Holographische Subtraktion der Bildinformation	289
6.3.4. Die räumliche Filtration	291
6.3.5. Die Identifizierung von Bildern	297
6.3.6. Die Restaurierung der räumlichen Information	300
6.4. Anwendung der Holographie in der Mikroskopie	303
6.4.1. Die holographische Mikroskopie	303
6.4.2. Die Holographie als mikroskopische Hilfstechnik	306
6.4.3. Die Holographie in der mikroelektronischen Maskierungstechnik	308
6.5. Andere Anwendungen der Holographie	309
6.5.1. Holographie in Kinematographie und Fernsehen	309
6.5.2. Die Synthese von Hologrammen mit Computern	313
6.5.3. Die nicht-optische Holographie	315
Literatur	317
Sachverzeichnis	324