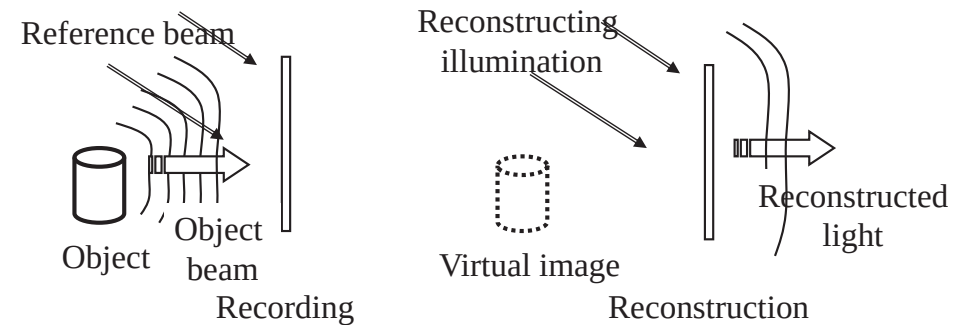


光画像工学 Optical imaging and image processing (XIII)

6.4.2 ホログラフィーの記録と再生

Hologram



- Reconstructing wavefront of light wave
- 光の「波面」を再生

1

5

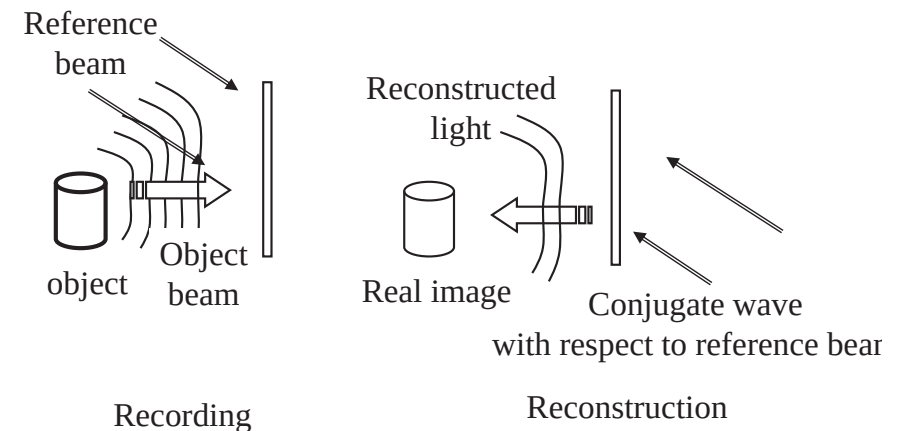
6.4 ホログラフィー

6.4.1 ホログラフィーとは

- 波面の記録・再現
 - 立体像の記録・表示
 - 光計測
- 光の進行方向、ビーム形状等を制御
 - 回折光学素子
 - 光情報処理
- 波長分散、波長選択
 - 光学素子
 - 白色光再生立体像表示
- 高密度記録・冗長性
 - 光メモリ
- 上記特徴の組み合わせ
 - セキュリティ印刷(偽造防止)

4

Reconstruction of real image

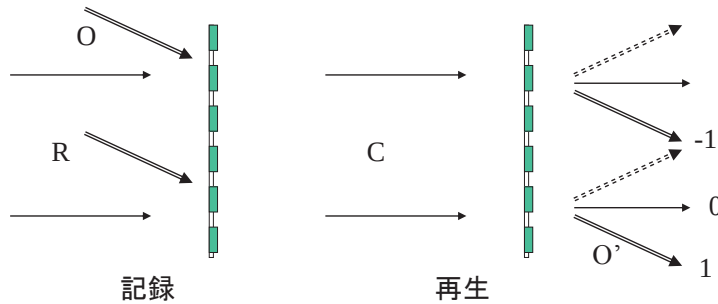


6

Reconstruction of hologram

平面波同士の干渉と回折

- $m=1$ の波面: Oと同じ波面



7

- Reconstructing wave $U(\mathbf{r}) = U_R(\mathbf{r}) T_A$

$$= t_1 U_R(\mathbf{r}) T_0 + t_1 U_R(\mathbf{r}) \{ |U_S(\mathbf{r})|^2 + |U_R(\mathbf{r})|^2 \}$$

$$+ t_1 U_S(\mathbf{r}) |U_R(\mathbf{r})|^2 + t_1 U_S(\mathbf{r})^* U_R(\mathbf{r})^2$$

$$= U_0'(\mathbf{r}) + U_D'(\mathbf{r}) + U_C'(\mathbf{r})$$

$$U_D'(\mathbf{r}) = t_1 U_S(\mathbf{r}) |U_R(\mathbf{r})|^2 = t_1 B^2 U_S(\mathbf{r})$$

→ Object wave is reconstructed (Virtual image)

- Conjugate image reconstruction

$$U(\mathbf{r}) = U_R(\mathbf{r})^* T_A$$

$$= U_0''(\mathbf{r}) + U_C''(\mathbf{r}) + U_D''(\mathbf{r})$$

$$U_D''(\mathbf{r}) = t_1 U_S(\mathbf{r})^* |U_R(\mathbf{r})|^2$$

$$= t_1 B^2 U_S(\mathbf{r}) = t_1 B^2 A(\mathbf{r}) \exp \{ -j \phi(\mathbf{r}) \} \quad (188)$$

→ Conjugate wave is reconstructed (Real image)

9

Recording of hologram

- Interference of two wavefronts

$$I(\mathbf{r}) = \langle |U_{Sc}(\mathbf{r}, t) + U_{Rc}(\mathbf{r}, t)|^2 \rangle$$

- Complex amplitude

- Object wave $U_S(\mathbf{r}) = A(\mathbf{r}) \exp \{ j \phi(\mathbf{r}) \}$
- Reference wave $U_R(\mathbf{r}) = B \exp \{ j k x \sin \theta \}$

- For coherent light

$$I(\mathbf{r}) = |U_S(\mathbf{r}) + U_R(\mathbf{r})|^2$$

$$= |U_S(\mathbf{r})|^2 + |U_R(\mathbf{r})|^2 + U_S(\mathbf{r}) U_R(\mathbf{r})^* + U_S(\mathbf{r})^* U_R(\mathbf{r})$$

$$= A(\mathbf{r})^2 + B^2 + A(\mathbf{r}) B \exp \{ j (\phi(\mathbf{r}) - kx \sin \theta) \}$$

$$+ A(\mathbf{r}) B \exp \{ -j (\phi(\mathbf{r}) - kx \sin \theta) \}$$

- Amplitude transmittance of recording medium

– When it is linear to exposed light energy

$$T_A = T_0 + t_1 I(\mathbf{r})$$

8

6.4.3 ホログラフィーの歴史

1948	ホログラフィーの発明 (Dennis Gabor)	インライン型, 電子顕微鏡の新しい原理
1960	世界初のレーザー発振 (T. Maiman)	(Ruby Laser, ホログラフィーの発展への契機)
1962 1963	オフアキス型ホログラム (E. Leith and J. Upatnieks)	通信理論の導入 レーザー再生による立体像表示
1963	反射体積型ホログラム (Y. N. Denisjuk)	白色光再生反射型
1964	光学的マッチトフィルタリング (A. Vander-Lugt)	光情報処理によるパターンマッチング
1966	ホログラムのテレビ伝送 (L. H. Enloe et. al.)	静止画文字パターンのホログラム伝送
1967	計算機合成ホログラム (A. W. Lohmann and D. P. Paris)	プロッターで出力したものを写真縮小
1968	ホログラフィック・ステレオグラム (J. T. McCrickerd and N. George)	レーザー再生による多視点画像のホログラム
1969	レインボウホログラム (S. A. Benton)	白色光再生透過型 (水平方向視差のみ)
1973	マルチプレックスホログラム (L. Cross)	白色光再生円筒型ホログラフィックステレオグラム
1975	エンボスホログラム実用化 (F. Iwata)	量産型ホログラム技術の確立
1976	Museum of Holography 開設	New York, 1992 閉館
1990	ホログラフィック・ビデオ (P. St.-Hilaire, et. al.)	音響光学変調器を用いた電子ホログラフィー

11

ホログラムの種類

- 物体との位置関係: イメージ型、フレネル型、フーリエ変換ホログラム
- 変調方式: 振幅型、位相型、複合型
- 乳剤の厚さ
- 観察方式: 反射型、透過型
- 再生方式: レーザ再生、白色光再生
- ホログラフィック・ステレオグラム
- 計算機合成ホログラム (CGH)

16

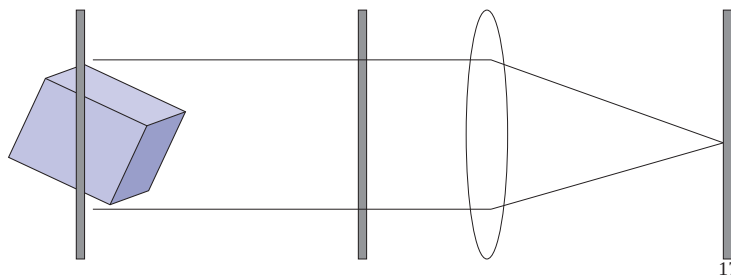
ホログラムの回折効率

- 回折効率 $\eta = I_o / I_i$
- 振幅ホログラム $\eta \leq 6.25 \%$
- 位相ホログラム $\eta \leq 33.9 \%$
- 厚い位相ホログラム $\eta \sim 100 \%$

18

物体との位置関係

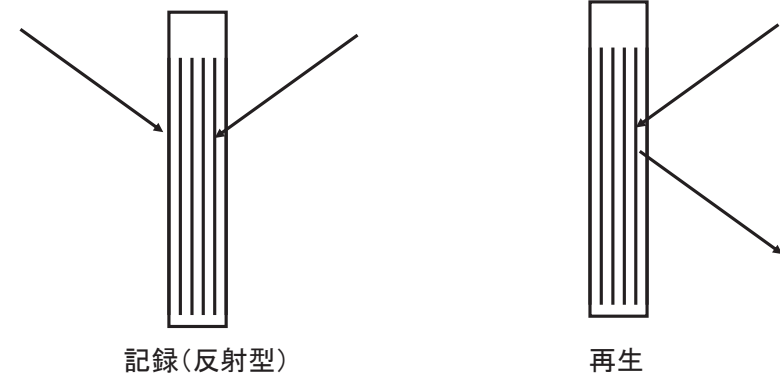
- イメージ型ホログラム
- フレネル型ホログラム
- フーリエ変換ホログラム



17

厚いホログラム

- 波長選択性
 - 角度選択性
- } Braggの条件



19

ディスプレイ用ホログラム

- レーザ再生ホログラム
 - フレネルホログラム
- 白色光再生ホログラム
 1. イメージホログラム
 2. レインボウホログラム
 - 1-step、2-step
 3. リップマンホログラム (Denisyuk ホログラム)

20

ホログラムの複製

1. エンボス型ホログラム
2. コンタクトコピー

23

カラーホログラム

1. レーザ再生型
2. 白色光再生型
 - 2.1 レインボウ型
 - 2.2 反射体積型 (デニシューク型、リップマン型)
3. カラー・ホログラフィック・ステレオグラム
 - 2.1 レインボウ型
 - 2.2 反射体積型 (デニシューク型、リップマン型)

21

Applications of holography

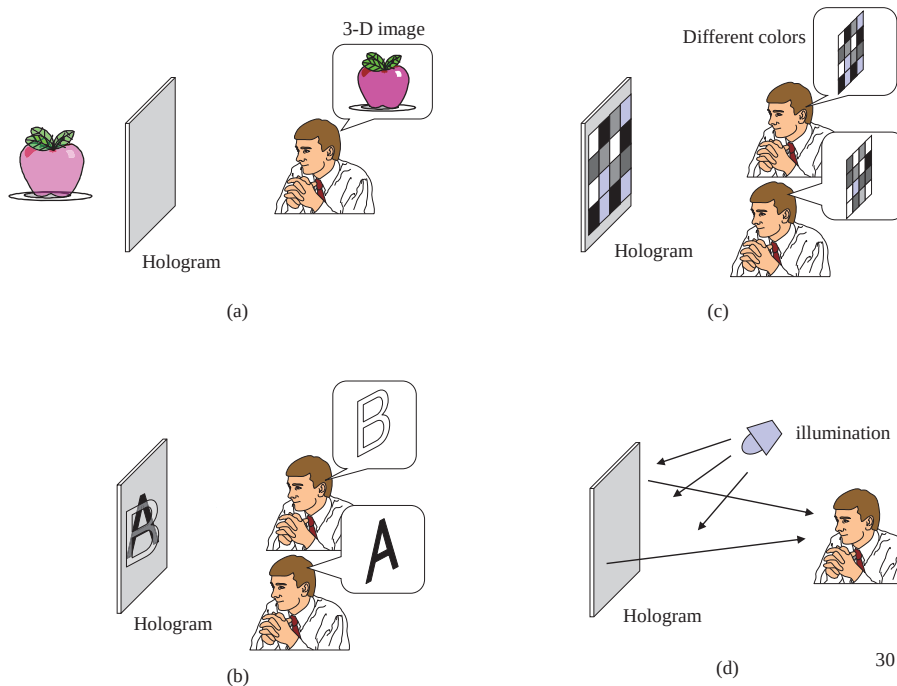
- 3D display
 - Publishing, Security, Package, Interior, Advertisement, Education
 - Printing of 3D image data, Medical 3D displays
- Security Printing
 - Banknote (10k, 5k bills), Credit card, Package of digital media
- Optical measurement
 - Holographic interferometer
 - Shape, Motion, Vibration, Refractive index, birefringence
 - Digital holography (using CCD cameras instead of photographic recording media)
- Optical information processing, Optical memory
 - Holographic matched filter, Holographic memory
- Holographic Optical Element (HOE)
 - Lens, Mirror, Diffuser, HUD, Projector, LCD
 - Screen, Dispersion element, Optical interconnection
 - Optical pickup, Scanner, Bar-code reader, Laser-beam printer, Beam shaping
- Imaging (Microscopy)
 - Electron holography, X-ray holography

28

ホログラフィの特徴

- 波面の記録・再生
 - 3次元情報の取得
 - 位相情報の取得
- 光線制御機能
- 像再生機能
- 波面制御機能
- 高精度
- 薄い
- 透明
- 色の分離・合成

29



30

ディスプレイホログラム技術

- 白色光再生
 - レインボウ型、リップマン型、イメージ型
- 架空物体、計算機との融合
 - ホログラフィック・ステレオグラム、CGH
- 電子ホログラフィー
 - AO素子、液晶パネル等を用いた動画ホログラフィー
- コピー
 - エンボスホログラム、ホログラムコピー技術
- 照明 – エッジリット
- 撮影 – ホログラフィーカメラ
- カラー化

31

ディスプレイホログラムの応用

- 出版
- セキュリティ
- パッケージ
- インテリア、装飾、広告
- 教育
- 3次元画像のプリンタ
- 医用画像の立体表示

32

一芸術一

東工大とホログラフィー

Setsuko Ishii's work has debuted as permanent installation at Tokyo Institute of Technology

Centennial Hall at Tokyo Institute of Technology,
Ookayama Campus (Tokyo, Japan)



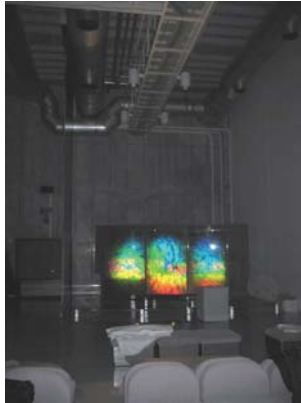
Lobby

Murmur of Aqueus, 1995

Multicolor rainbow hologram, Glass, Stainless steel mirror, water

Hologram size ~ 3m × 2m (1m × 2m × 3)

Opening Ceremony : 23 January 2003



→1/21

41

一東工大博物館一

国内外のホログラフィーの収集・保存・展示を行う



37

ホログラフィー干渉計測

- 変位計測
- 振動計測
- 形状計測
- 屈折率分布計測

2重露光法
実時間法
時間平均法
ストロボ法
位相シフト干渉系
二波長法



非破壊検査

42

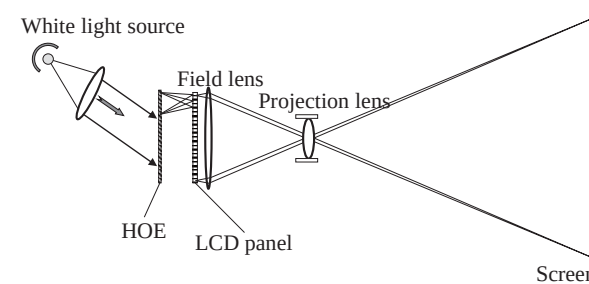
ホログラフィック光学素子 Holographic Optical Element (HOE)

- レンズ・ミラー
- 反射板
 - HUD、液晶プロジェクタ、反射型LCD等
- プロジェクタ用スクリーン
- 分光素子
- 光インターコネクト
 - チップ間光接続、光ピックアップ
- スキャナ
 - バーコードリーダ、レーザプリンタ
- ビーム整形 等

45

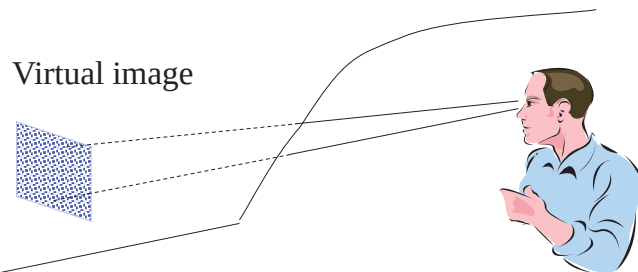
液晶プロジェクタ光学系

- 特徴
 - 波長分散→色の生成、高効率化
 - 体積型ホログラム→高回折効率
 - 光波制御(レンズ機能)→光学系の簡単化
- 代替技術
 - 色フィルタ、マイクロレンズアレイ



50

HUD(Head-up display)

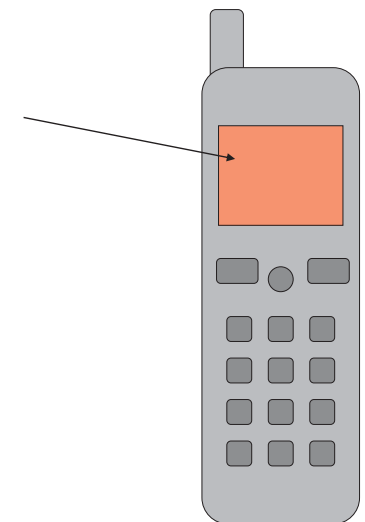


- Features
 - Virtual image formation
 - Only the light of specific wavelength is reflected, others are transmitted. (High-transmittance)
 - Thin device (Sandwich between glasses)
- Substitution of concave half-mirror, Fresnel lens, and Dichroic mirror

47

携帯電話・PDA

- 反射板
- 特徴
 - 視域角制限→高輝度
 - 波長選択性→色
 - 透明(位相型ホログラム):
 - バックライトは透過
- 代替技術
 - 拡散板



51