

1 Holography - two-beam transmission hologram

1.1 Two-beam transmission holograms

1.1.1 Purpose

前回の二光干渉による回折格子の製作の原理を用いてホログラムを作る．ホログラムの原理を理解する．

1.1.2 Contents

以下のように光学系を製作する．

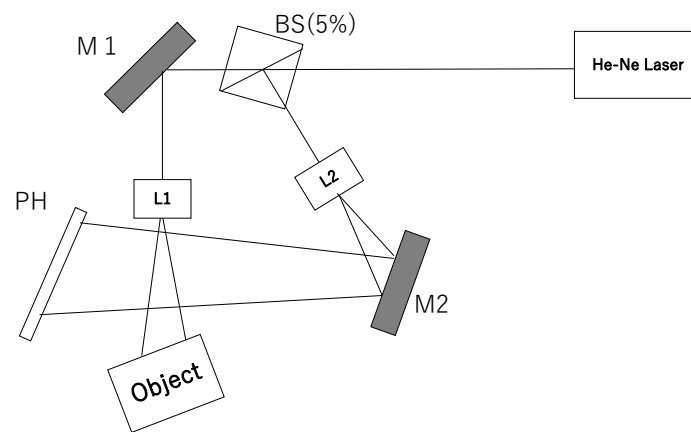


図1 二光干渉によるホログラムの実験

まず今回は 5% のビームスプリッターを使用した．また分けたそれぞれの光を L1,L2 のレンズによって拡大した．L1 によって拡大された光を物体にあて反射光がプレートホルダーに届くように調節した．この時 Object として白鳥のモデルを使用した．また前回から基本的に実験機材を動かしていないため二つの光路差は 0 となっておりコヒーレント長を上回らないことを確認した．またプレートホルダー上において参照光の強度がと物体光の強度が 2 から 3 倍となるように計測器を用いて調節した．

この時参照光強度は $0.55 \mu W$, 物体光強度は $0.20 \mu W$ であった．以上結果よりフィルムプレートに露光する時間を計算する．ホログラムを作るのに最適な露光時間は $90[\mu J/cm^2]$ であるので計測器の面積が $16\pi[mm^2]$ であることに注意すると露光時間は $60.32[s]$ と計算できる．

露光が終わったら次は現像作業を行う．現像は以下のような手順で行なった．

現像後 5% ビームスプリッターを 100% ビームスプリッターに取り替え参照光を現像したフィルターにあてフィルター越しに干渉光を覗き込んでホログラムが作られているかを確認する．

表 1 現像の手順

項目		内容	処理時間
現像	現像液 コピナール	ホログラム乾板を浸し連続攪拌する	6 分
水洗い	水	水ですすぐ	2 分
定着	定着液 スーパーフィジフィックス	ホログラム乾板を浸し連続攪拌する	5 分
予備水洗い	水	水ですすぐ	2 分
水洗促進浴	水洗促進剤 フジ QW	浸しながら攪拌する	1 分
水洗い	水	水ですすぐ	2 分
脱水	仕上げ剤 ドライウェル	浸しながら攪拌する	1 分
乾燥	ドライヤー	ドライヤーの弱冷風を当てる	乾くまで

1.1.3 Result

現像したフィルターに参照光を当て覗き込むと下の写真のような像が観察できた．またこの像は写真などとは異なり三次元的に映し出されていた．



図 2 白鳥のホログラム

1.1.4 Discussion

まず、今回はコヒーレント長を上回らなかつたためにしっかりフィルター上にホログラムを作る回折格子が作られたと考えられる。もし光路差がコヒーレンス長を上回ってしまった場合はフィルター上で干渉を起こすことができずに綺麗にホログラムが生成されないことが予測される。そのため光路差を等しくする作業はこの実験において非常に重要な操作であったと考えられる。また今回の実験で得られたフィルターが割れたとしてもその破片に同じように参照光を同じ角度で当てるとこのホログラムは再現されると予想される。これはホログラムが再生されるためのフィルター上の回折格子の間隔は前回の実験から分かるように数 $\mu\text{ m}$ のオーダーであるからである。そのためある程度小さくプレートを割ったとしてもホログラムが再生されることが予想される。

また今回のホログラムの生成は原理としては実験5の二光干渉によってできた回折格子による干渉と同じである。今回の場合は前回の実験と異なり白鳥のオブジェクトから反射された光と参照光によってプレート上に回折格子が作られた。このプレートに参照光を照射した際に透過光の複素振幅が物体光に比例する光が再生されるためだと説明できる。この現象は以下の式によって説明される。

まず光電場を $E(\vec{r}, t) = A_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} = \Psi e^{-i\omega t}$ ここで複素振幅 $\Psi = A_0 e^{i\phi}$ ($\phi = \vec{k} \cdot \vec{r}$) とする。するとまずプレート上では参照光と物体光が干渉を起こすのでプレート面での複素振幅 Ψ_H は

$$\Psi_H = \Psi_O + \Psi_R$$

ここで Ψ_O, Ψ_R はそれぞれ物体光と参照光の複素振幅を表す。したがってプレート上でのビーム光の強度 I_H は

$$\begin{aligned} I_H &= (\Psi_O + \Psi_R)(\Psi_O + \Psi_R)^* \\ &= |\Psi_O|^2 + |\Psi_R|^2 + \Psi_R \Psi_O^* + \Psi_O \Psi_R^* \end{aligned}$$

プレート上の感光材がこの光強度 I_H に比例した透過率変化を起こすはずなのでこのプレートに参照光のみを照射した際に生成される透過光複素振幅 Ψ_T は比例定数 K を用いて

$$\begin{aligned} I_H &= K \Psi_R [|\Psi_O|^2 + |\Psi_R|^2 + \Psi_R \Psi_O^* + \Psi_O \Psi_R^*] \\ &= K [\Psi_R (|\Psi_O|^2 + |\Psi_R|^2) + \Psi_R^2 \Psi_O^* + \Psi_O |\Psi_R|^2] \end{aligned}$$

この時第三項の複素振幅 $\Psi_O |\Psi_R|^2$ は物体光の強度に比例するため、参照光の透過光により物体光が再生されることが数式によっても示された。

参考文献

- [1] 櫛田孝司『光物理学』（共立出版，1983）