

二重回折格子によるシャリング干渉計を用いた 空間的コヒーレンスの測定

Holographic Double Frequency Grating Shearing Interferometer and its Application to Measurement of Spatial Coherence

劉 中 本*・謝 建 平**・黒 田 和 男***・小 倉 馨 夫***

Zhong Ben LIU, Jian Pin XIE, Kazuo KURODA and Iwao OGURA

1. ま え が き

光源の空間的コヒーレンスは通常ヤングの干渉計による干渉縞のビジビリティ(コントラスト)から測定される¹⁾。この方法は二つの欠点がある。第1は接近した2点間のコヒーレンスを測ろうとする場合にはピンホールの間隔が近づくことになり、必然的にピンホールの直径を非常に小さくしなければならない。したがって、この場合にピンホールを通過する光量は少なくなり長時間の露光が必要になる。第二は一度の測定ではピンホールのある特定の位置の空間的コヒーレンスしか求められずある範囲内の空間的コヒーレンスの分布はわからないことである。このため空間的にコヒーレンスの変化する光の測定には向かない。

これに対し Grimes²⁾はシャリング干渉計を用いた空間的コヒーレンスの測定を提案した。シャリングされた波面による干渉縞のビジビリティは空間的コヒーレンスであって、シャリング量はヤングの干渉計の場合のピンホールの間隔に相当する。この方法は十分な光量をとれて測定しやすい。この方法によれば空間的コヒーレンスの分布もわかることができる。Grimesはプリズムシャリング干渉計で空間的コヒーレンスを測定したが、この干渉計ではシャリング量をかえることは必ずしも容易ではない。

われわれは二重回折格子シャリング干渉計^{3,4)}で空間的コヒーレンスを測定した。干渉計の二重回折格子はホログラフィックに製作された。この方法は干渉計の製作も容易であり、またシャリング量を変えるのも簡単である。

2. 二重回折格子シャリング干渉計の原理

図1のように入射光を二重格子に垂直にあてると一次

* 西安応用光学研究所 (中国・西安)

** 中国科学技術大学 (中国・合肥)

*** 東京大学生産技術研究所 第1部

回折波面の回折角度は

$$\sin \alpha_1 = N_1 \lambda \quad (1)$$

$$\sin \alpha_2 = N_2 \lambda$$

と表される。 α_1 は格子1による回折角、 α_2 は格子2による回折角、 N_1 、 N_2 はそれぞれ格子1と格子2の空間周波数、 λ は入射光の波長である。

このとき、二つの回折波面のシャリング角度 α は近似的に

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \cong (N_2 - N_1) \lambda \quad (2)$$

であり、両波面の干渉によってできる干渉縞の空間周波数 N は

$$N = \frac{\alpha}{\lambda} \quad (3)$$

となる。式(2)と(3)により

$$N = N_2 - N_1 \quad (4)$$

となる。すなわち、干渉縞の空間周波数は格子の空間周波数の差に等しく、シャリング量 S は

$$S = N \lambda l \quad (5)$$

で表される。ここで、 l は格子から測定面までの距離である。(5)式によって距離 l をかえると容易にシャリング量 S をかえることができる。さらにシャリング量をかえても干渉縞の空間周波数はかわらない。これはこの方法の利点の一つである。

シャリング波面によってできる干渉縞の空間周波数 N は2 lines/mmぐらにとった。これは N が5~10 lines/mm以上ではフィルムのMTFの影響を受け、測定値が不正確になるおそれがあり、一方 N が小さすぎると干渉縞があらくなりすぎて、観測が困難になるからである。

3. ホログラフィック二重回折格子の作製方法

われわれはHe-Neレーザーを光源とし649 F乾板を用い二重露光によりホログラフィック二重回折格子を製作した。二重格子を作製する光学系は図2のとおりである。レーザー光はビームスプリッターBS、反射鏡M、顕

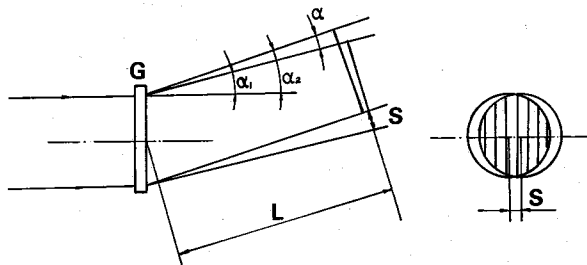


図 1 二重回折格子シャリング干渉計の原理図

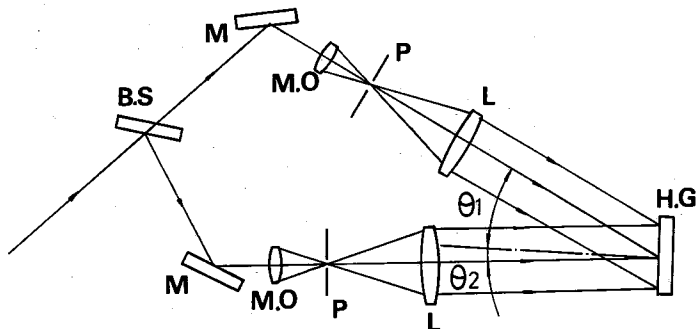


図 2 ホログラフィック二重回折格子を製作する光学系

微鏡対物レンズ M.O., ピンホール P とコリメーターレンズ L を通って二つの平面波になる。この二つの交叉する平面波を干渉させると、正弦波状の干渉縞が生じる。これを乾板に記録し格子 H.G とする。一回目の露光をしてから乾板を回転してもう一度露光をする。これによって格子間隔の異なる格子を同一乾板上に製作する。

格子の空間周波数は二つの入射光の入射角で表される。ここで、 θ_{11}, θ_{12} と θ_{21}, θ_{22} をそれぞれ一回目の露光と二回目の露光の入射角とすると、作製した二つの格子の空間周波数は

$$N_1 = \frac{\sin \theta_{11} + \sin \theta_{12}}{\lambda} \tag{6}$$

$$N_2 = \frac{\sin \theta_{21} + \sin \theta_{22}}{\lambda}$$

となる。実際のデータは $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, $\theta_{11} = 30^\circ$, $\theta_{12} = 0^\circ$, $\theta_{21} = 29.5^\circ$, $\theta_{22} = 0.5^\circ$, $N_1 \cong 1000 \text{ lines/mm}$, $N_2 \cong 1002 \text{ lines/mm}$ であった。

4. 空間的コヒーレンスの測定

図 3 は銅レーザーの空間的コヒーレンスを測定する配置である。銅レーザー光は絞リ A を通り、二重格子 G に入射し方向の異なる二つの一回折光を発生する。シャリング量をゼロから測定するためにレンズ系を利用し

た。G をレンズ L_1 の前側焦点面におくと、レンズ L_2 の後側焦点面に G の共役像 G' ができる。この位置はシャリング量がゼロになる位置である。空間的コヒーレンスを測定しようとする面にフィルム面を設定し、撮影、現像をしてからデンシトメータで濃度を測定した。濃度は光の強度の対数に比例するから、濃度からレジピリティを計算できる。

測定系にレンズ系をいれたために、測定する面から格子面までの距離とシャリング量をレンズ系の物体側の量に換算する必要がある。レンズ系の横倍率、縦倍率はレンズ L_1, L_2 の焦点距離を f_1, f_2 としてそれぞれ f_2/f_1 , $(f_2/f_1)^2$ となり、これは物体の位置によらない。したがって換算式は

$$l = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 l' \tag{7}$$

$$S = \frac{f_1}{f_2} S' \tag{8}$$

$$S' = N' \lambda l' \tag{5'}$$

になる。 l' は測定面 F から G' までの距離、 N' は実際に記録されるフィルム面上の干渉縞の空間周波数である。実際のデータは $f_1 = 200 \text{ mm}$, $f_2 = 250 \text{ mm}$, $\lambda = 0.5106 \mu\text{m}$, $N' = 1.7 \text{ lines/mm}$ であった。

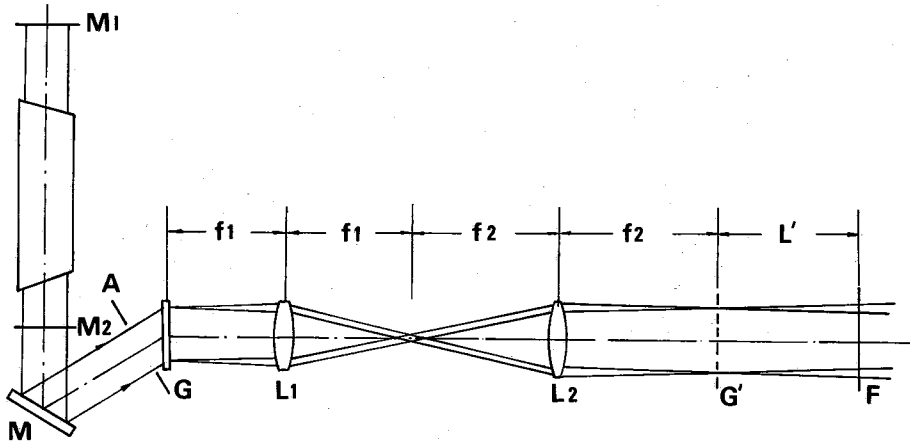


図 3 銅レーザーの空間的コヒーレンスを測定する光学系

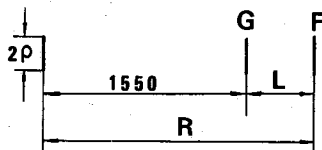


図 4 インコヒーレント準単色光源の空間的コヒーレンスの測定系

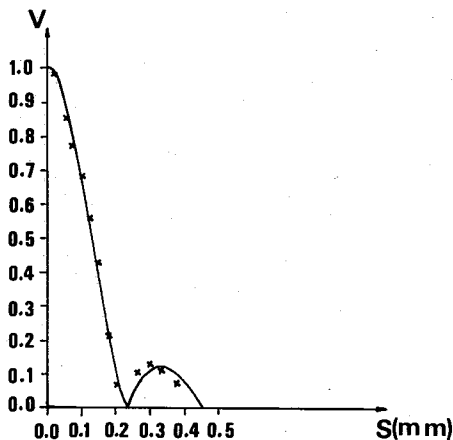


図 5 円形光源の空間的コヒーレンスの計算値と測定値の比較

5. インコヒーレント準単色光源の空間的コヒーレンスの測定

この方法の信頼性をたしかめるためにインコヒーレント準単色光源の空間的コヒーレンスを測定した。光源に

はナトリウムランプを用いた。インコヒーレント光源の空間的コヒーレンスは Van Cittert-Zernike の定理⁹⁾ によって計算できる。円形の光源のときの結果は

$$|\mu_{12}| = \frac{2J_1(\nu)}{\nu} \quad (9)$$

$$\nu = \frac{2\pi\rho}{\lambda R} S$$

になる。図 4 のごとく ρ は光源の半径、 R は光源から測定する面までの距離、 S はシャリング量である。実際のデータは $\rho = 2.7 \text{ mm}$ 、 $R = (1550 + l) \text{ mm}$ であった。

計算値と測定値は図 5 のとおりである。この図からわかるように測定値と計算値はだいたい一致している。

6. 結 論

本方法は光源の空間的コヒーレンスの測定に対して有効な方法である。干渉計の作製が容易である、測定系の調整が簡単である、シャリング量をかえるのが簡単である、シャリング量をかえても干渉縞の空間周波数はかわらないので測定しやすいなどの利点を持っている。

(1984 年 1 月 23 日受理)

参 考 文 献

- 1) M. Born and E. Wolf: Principle of Optics (Pergamon Press, Oxford, 1970) p. 506
- 2) D. N. Grimen: Appl. Opt. 10 (1971) 1567
- 3) J. C. Wyant: Appl. Opt. 12 (1973) 2057
- 4) 松田浄史: 応用物理, 49 (1980) 1142
- 5) M. Born and E. Wolf: Principle of Optics (Pergamon Press, Oxford, 1970) p. 508