

軟 X 線顕微鏡の光軸調整用シングルパス点回折干渉計の開発

○豊田光紀、内田健太郎、柳原美廣

東北大学多元物質科学研究所 〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

Tel: 022-217-5378, Fax: 022-217-5379, E-mail: toyoda@tagen.tohoku.ac.jp

1. はじめに

波長 2-20nm の軟 X 線を結像に用いる軟 X 線顕微鏡では、数 10nm の高い空間分解能が期待できる。回折限界分解能を実現するには、対物鏡で生じる波面収差を使用波長の 1/14 以下に低減する必要があり(Marechal 条件)、顕微鏡の動作波長(13.5nm)では僅か 1nm 程度の収差しか許されない。本講演では、顕微鏡の心臓部となる拡大対物鏡の光軸調整用に開発を進めている点回折干渉計の現状と、波面の測定精度を検証した結果について報告する。

2. 点回折干渉計

我々は、Schwarzschild 対物鏡(図 1:M2, M3)の後段に、凹面鏡(図 1:M1)による拡大光学系を組み合わせた 2 段拡大による高倍率対物鏡(開口数 0.25, 結像倍率 $\times 1470$)を提案している [1]。本対物鏡の光軸調整用に開発した点回折干渉計の概略を図 1 に示す。DPSS レーザー(波長 $\lambda=473\text{nm}$)を反射型回折格子(格子定数 1/200mm)に入射し生じた回折光の内、0 次光と 1 次光を高倍率対物鏡(M1-M3)に拡大側から入射する。Schwarzschild 対物鏡の下流にある集光面 A で、0 次光をピンホール(直径 $\phi=600\text{nm}$)に通すことで理想的な球面波を作る。一方で、1 次光は比較的大きい開口(直径 $\phi=21.3\mu\text{m}$)を通し、対物鏡で生じる波面収差を保ったまま伝搬させる。2 つのビームは、シンチレーター上で重なり干渉縞を作る。シンチレーターによりコヒーレンスを低減した後、干渉縞を結像レンズ L3 により拡大し CCD カメラ B で観察する。干渉縞には、理想球面波と、対物鏡で生じる波面収差との差分の情報が含まれ、これを解析することで対物鏡の波面収差を推定することができる。

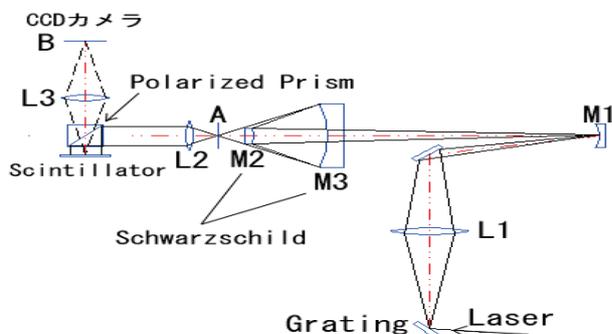


Fig. 1. Schematic of point diffraction interferometer.

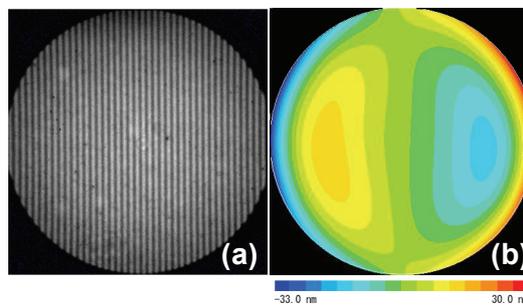


Fig. 2. Wave aberration of imaging lens (a)interferogram, (b) wavefront map.

3. 干渉縞撮像レンズで生じる波面収差の再現性測定結果

CCD カメラで観察される干渉縞像には、対物鏡の波面収差の情報に加え、撮像レンズ(L2, L3)で生じる波面収差の影響も含まれる。波面の絶対測定には、撮像レンズの影響を減算する必要がある。集光面 A において 0, 1 次光ともピンホールを通し測定することで、撮像レンズの持つ収差の影響を測定することができる。ダブルピンホール配置で得た干渉縞を図 2(a)に、干渉縞像を演算し得た波面収差像を図 2(b)に示す。波面収差を Zernike 多項式で展開した結果、撮像レンズの影響は、8.8nm rms. であり、その主成分はコマ収差(Z6)であった。また、測定値の再現性は 0.02nm 以下であり、撮像レンズの影響は高い精度で減算できることが分かった。講演では、撮像レンズによる影響を減算し得た、絶対波面の測定結果についても報告する。

[文献] 1) M. Toyoda et al.: Appl. Phys. Express 5 (2012) 112501.