

最近の技術から

硬 X 線用積層型ゾンプレート

田村 繁治・上條 長生

大阪工業技術研究所 〒563 池田市緑丘 1-8-31

1. ま え が き

シンクロトロン放射 (SR) 光の出現にともない X 線のマイクロビーム化技術が期待されている。ゾンプレート (以後 ZP と記述) は X 線集光素子の一つであり、現在のところ最も微細なビームの形成が可能であることから、軟 X 線顕微鏡のレンズとして広く実用化されている^{1,2)}。ZP は回折現象を利用した集光素子で、入射 X 線に対して透明、不透明な同心円の輪帯を交互に何層も繰り返した平板である (図 1 (c))。軟 X 線用の ZP は微細加工技術を利用して作製され、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下のビーム径が得られている。一方、いわゆる硬 X 線 ($1 \sim$ 数 \AA) では、X 線の透過力が強いために不透明帯に厚み (図 1 (c) の t) が必要となり、この手法での作製は困難である。そのため、多層薄膜成膜技術を利用して作製されているが、ビーム径は数 μm にとどまってお³⁻⁵⁾、サブミクロン化のためには作製技術を中心になお検討する必要がある。本稿ではこの積層型 ZP の開発の現状について紹介する。

2. 積層型ゾンプレートの作製法

積層型 ZP の作製法の概略を図 1 に示す。回転する芯線基板上に重元素 (X 線遮断物質) と軽元素 (X 線透過

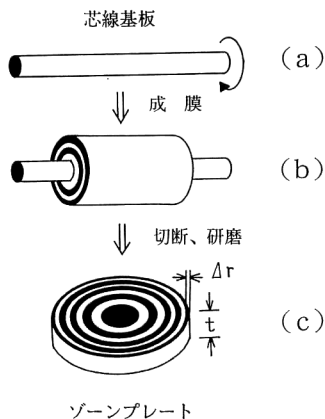


図 1 積層型 ZP の作製法の概略

物質) とを交互に何層も成膜後、回転軸に対して垂直に切断し、研磨により所望の厚さ (8 keV 用で $15 \sim 50 \mu\text{m}^{3-5)$) に薄片化して ZP を得る。ゾーンの成膜過程ではスパッタリング法が使用されている。

3. ゾンプレート用多層膜材料

ZP を使用した光学系の焦点面でのビーム径は最外ゾーン幅 (図 1 の Δr) の 1.03 倍であり⁶⁾、ゾーン幅は外周部ほど狭いので、理論上はゾーン数が多いほど微細なビームが得られる。ところが積層型の ZP の場合、ビーム径は上記の値よりも 1 桁大きな値しか得られていない³⁻⁵⁾。この原因として、光源の大きさ^{3,5)}、ゾーン (多層膜) の界面の乱れ、層数が考えられる。このうち界面の乱れに関しては、成膜材料、成膜条件、成膜手法などを変えることにより乱れの抑制が可能と思われる。

Saitoh らは WSi_2/C 系 ZP³⁾、Bionta らは Al/Cu 系 ZP^{4,5)} を作製した。これらの ZP の界面の平滑性、層数についてはさらに改善の余地があると思われる。Witt も Ni/Ge 系 ZP の作製を行っている⁷⁾。

筆者らは界面の乱れの成膜材料依存性について調べた。軽元素に C を、重元素に W, Cr, Ag, Cu を用いてスパッタリング法で金芯線基板上に多層膜を成膜した結果、 Ag/C 多層膜の界面が最も平滑で、 Cu/C 多層膜がそれに次いで良く、 W/C 多層膜は最も乱れていた^{8,9)}。すなわち、重元素に低融点材料 (Ag, Cu) を用いた方が平滑な界面が得られた。また、 Ag/C 多層膜が最も平面に加工しやすいこともわかった^{8,9)}。図 2 に Ag/C 系 ZP の SEM 写真を示す。界面の平滑性を乱す最大の要因は膜の応力と考えられ、重元素の応力の差に基づく多層膜全体の応力の差がこの結果に反映されていると思われる。一般にスパッタ膜の応力は成膜時の Ar ガス圧により大きく変化するので、 Ag/C 多層膜を Ar ガス圧を変えて成膜したところ、さらに平滑性を改善することができた。

現在、図 2 の ZP について SR 光を用いた集光テストを行っており、「(光源の寸法) \times (光学系の縮小率)」に

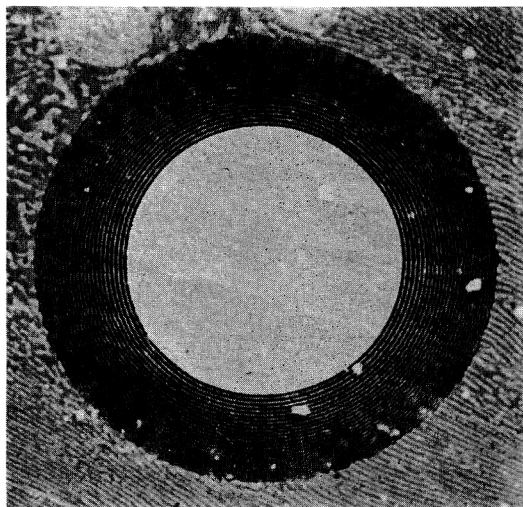


図 2 Ag/C ゾーンプレート (50 層) の SEM 像。
中心は金ワイヤー, 白い層は Ag, 黒い層は C.

近い形状のマイクロビームを得ている。これについてはさらに検討し, 別の機会に報告したい。

4. む す び

積層型 ZP の開発の現状について述べた。多層膜界面の乱れを極力抑制して層数を増やせば, さらにビームの微小化が可能となるであろう。本稿で紹介した手法を利用すれば, 集光効率の高い屈折率傾斜 ZP¹⁰⁾ も原理的には作製可能である。

硬X線のマイクロビーム化により発展が期待される分野としては, 微小領域蛍光X線分析, マイクロビームX

ANES によるイメージング, 半導体の欠陥分析など材料評価技術の全般にわたると考えられる。

文 献

- 1) A.G. Michette, G.R. Morrison and C.J. Buckley eds.: *X-ray Microscopy III* (Springer-Verlag, Berlin, 1992).
- 2) 青木貞雄: “軟X線顕微鏡”, 光技術コンタクト, **31** (1993) 734-740.
- 3) K. Saitoh, K. Inagawa, K. Kohra, C. Hayashi, A. Iida and N. Kato: “Fabrication and characterization of multilayer zone plate for hard X-rays,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27** (1988) L2131-L2133.
- 4) R.M. Bionta, E. Ables, O. Clamp, O.D. Edwards, P.C. Gabriere, K. Miller, L.L. Ott, K.M. Skulina, R. Tilley and T. Viada: “Tabletop X-ray microscope using 8KeV zone plates,” *Opt. Eng.*, **29** (1990) 576-580.
- 5) W. B. Yun, B. Lai, D. Legnini, Y. H. Xiao, J. Chrzas, K.M. Skulina, R.M. Bionta, V. White and F. Cerrina: “Performance comparison of hard X-ray zone plates fabricated by two different methods,” *Proc. SPIE*, **1740** (1992) 117-129.
- 6) H. Aritome, H. Aoki and S. Namba: “X-ray zone plates fabricated using electron beam lithography and reactive ion etching,” *J. Vac. Sci. Technol.*, **B 3** (1985) 265.
- 7) P. Witt: “Preparation and thinning of sputtered sliced zone plates,” *Preprint of XRM-93, H 2* (1993).
- 8) 田村繁治, 大谷和男, 上条長生: “硬X線積層型ゾーンプレート用材料の検討”, 電子情報通信学会論文誌, **76-C-II** (1993) 761-762.
- 9) S. Tamura, K. Ohtani and N. Kamijo: “Materials for multilayer zone plates,” *Appl. Surf. Sci.*, **79/80** (1994) 514-518.
- 10) H. Fujisaki and N. Nakagiri: “Design of a gradient refractive index phase zone plate for soft X-rays,” *Appl. Opt.*, **29** (1990) 483-488.

(1994年4月6日受理)