

2015B2008

BL40XU

低融点合金を利用した新しい X 線光学素子の試作 New Types of X-ray Optics Made of Low Melting-Temperature Alloy

岩本 裕之
Hiroyuki Iwamoto

(公財)高輝度光科学研究センター
JASRI

低融点合金を利用し、高エネルギー X 線用のピンホール光学素子を安価に作成する方法を考案し、また作成のための装置を試作した。この装置を用いて実際にピンホール光学素子を作成し、BL40XU ビームラインにて試用したが、市販のものと同様に問題なく使用できた。

キーワード： 低融点合金、ピンホール、高エネルギー X 線

背景と研究目的：

ピンホールは X 線マイクロビームを容易に生成する手段として広く使われている。一般に KB ミラーやゾンプレートに比較して著しく安価であり、アライメントが容易である。X 線用ピンホールは通常タンタルのような X 線が透過しにくい基板にレーザー加工によって穿孔して製造される。しかしこの製造法ではピンホールの内径は 2 μm が限界であり、他の手段によって(例えば FIB 加工など)これよりも小さな径のピンホールを製造しようとしても、穴径に応じて基板を薄くせざるを得ず、特に高エネルギーの X 線において穴を通らない X 線を十分に遮蔽できなくなる。この問題を、新しい方法で製造するピンホールによって回避することを考える。今回は、細い繊維の周りに熔融した低融点金属を流し込むことで微小径のピンホールを作成することにした。

実験：

今回ピンホールの「鋳型」としたのはガラス微小電極で、先端径 1 μm 以下のものが容易に作成できる。低融点金属として、最初はビスマスと錫の合金(商品名:Uアロイ 138G: 融点 138°C)を用いたが、熔融のため加熱すると表面が容易に酸化して不適であった。その後、最終的に市販の電子回路用のはんだ(スズと鉛の合金)を用いることにした。はんだの熔融には、温度調節型のはんだごて(大洋電機産業:RX-802AS)を利用し、鋳型となるガラス微小電極は、ボロシリケートガラス製のキャピラリーをニードルプラー(成茂科学器械研究所:PC-10)で引いて作成した。キャピラリーの位置はシグマ光機製 XYZ ステージで調節できるようにした。合金が冷却したあとはガラス微小電極を引き抜いてピンホールを完成させた。

結果および考察：

図 1 に今回試作したピンホール作成装置の全体像を示す。はんだごての先端に、ピンホールを作成するための径 1 mm の真鍮製円盤を固定する真鍮製部品を取り付けている。円盤をはんだ熔融温度以上に加熱した後に電子回路用のはんだを穴の部分に触れさせれば、熔融したはんだが穴を満たすことになる。ここにガラス微小電極を挿入したあと、はんだごての電源を切って冷却させ、はんだが固まったあとに微小電極を引き抜けば、真円形のピンホールが中央に開いた円盤が完成する。

図 2、図 3 は円盤付近を別角度で撮影したものである。

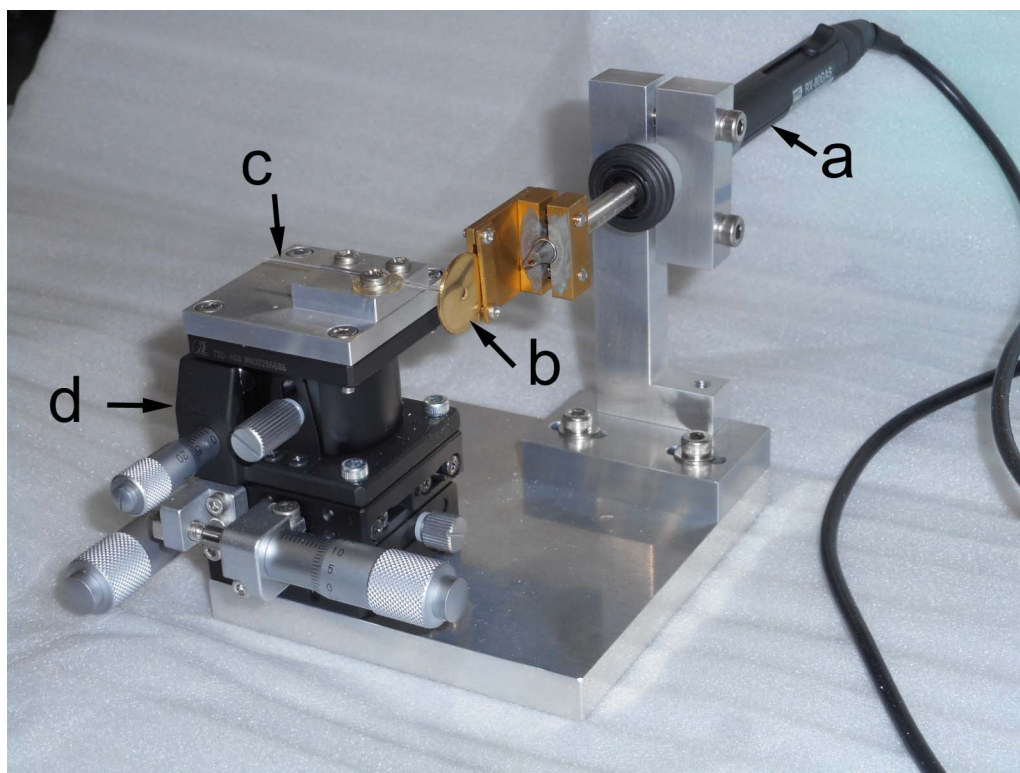


図1. ピンホール作成装置の全景。a、はんだごて； b、真鍮円盤； c、ガラス微小電極； d、XYZ ステージ。

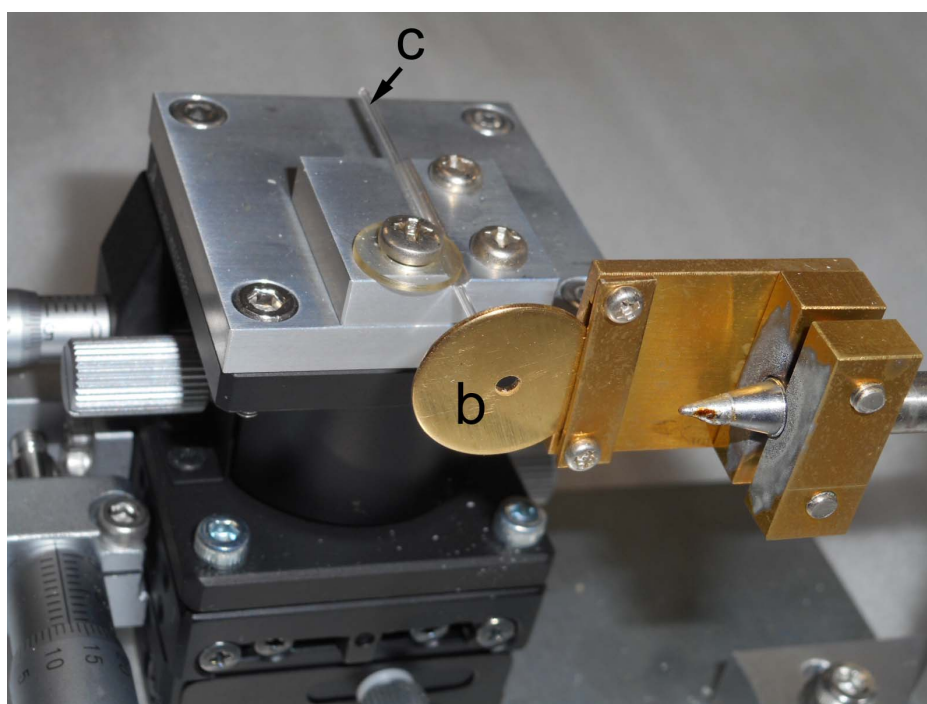


図2. 装置の円盤付近を別角度で撮影したもの。記号は図1と同一。

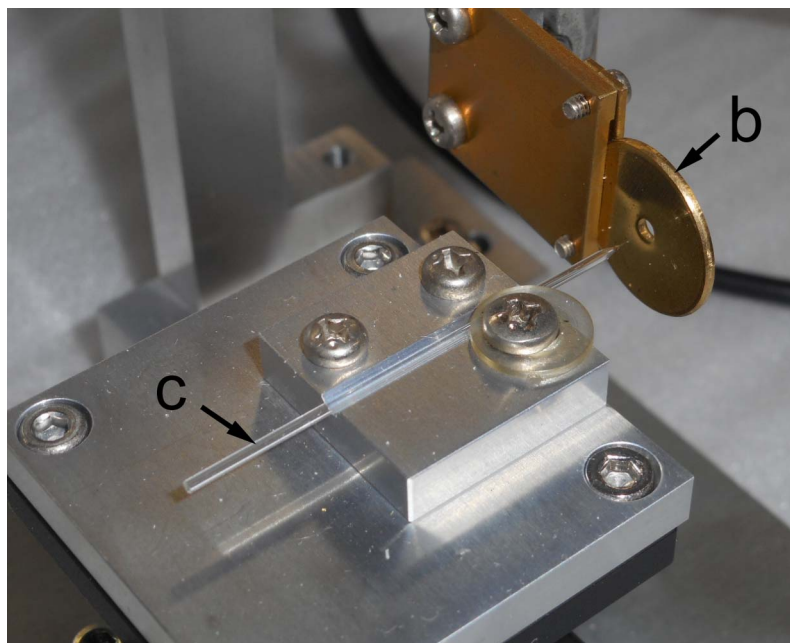


図 3. 装置の円盤付近を図 2 とは反対側から撮影したもの。記号は図 1 と同一。

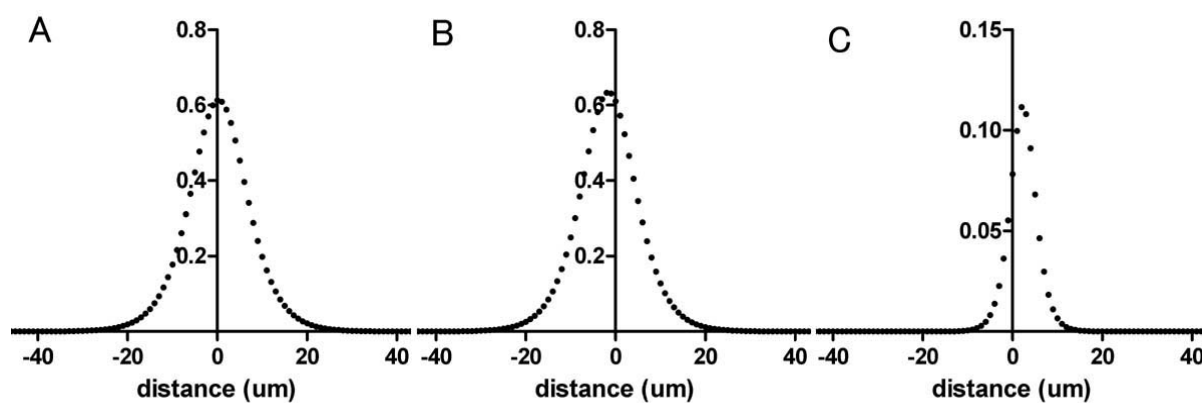


図 4. ナイフエッジスキャンによるマイクロビームの強度プロファイル。A は Lenox Laser 製の $20\ \mu\text{m}$ のピンホール、B と C は今回作成したピンホール。半値幅はそれぞれ 14.7 , 13.3 , $6.0\ \mu\text{m}$ 。

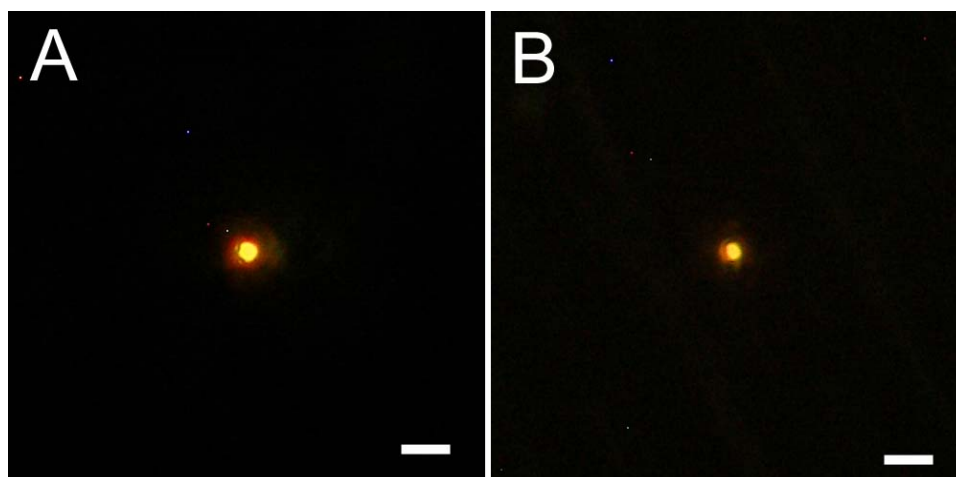


図 5. ピンホールのアパーチャー付近の顕微鏡写真。A は作成したもの、B は Lenox Laser 製の $2\ \mu\text{m}$ のピンホール。フレアにより、径が大きめに見える。スケールバーは $10\ \mu\text{m}$ 。

作成したピンホールのうち、径 31 μm のものを、10 μm の defining pinhole (Lenox Laser 製、50 μm タンタル箔にレーザー穿孔、以下も同じ)と組み合わせて guard pinhole として使用したが、市販のピンホールと同様に全く問題なく使用できた。図 4 は作成した 2 つのピンホールを用いて生成したマイクロビームの強度プロファイルを、ナイフエッジスキャンによって求めたものである(ガウス関数によるフィッティング)。A は米国 Lenox Laser 社製の 20 μm のピンホール、B、C は今回作成したものであるが、強度プロファイルの比較から、B の穴径は約 20 μm 、C は約 9 μm と推定される。以上のように、今回開発された方法を用いれば、アスペクト比の高い高エネルギー X 線用ピンホールが容易かつ安価に作成できることが立証された。

図 5 は作成したもののうちで現在最も穴径の小さなものの顕微鏡写真で、オリンパス製 IX-70 倒立顕微鏡を用いて撮影したものである。フレアのため、光量に依存して実際より大きめに見えるが、A が今回作成したもの、B が Lenox Laser 製の 2 μm のピンホールである。B との比較により、A の穴径は約 3 μm と考えられる(このピンホールは X 線実験には未使用である)。

今後の課題：

市販のガラス微小電極用ニードルプラーを用いれば、先端径がサブミクロンの微小電極が容易に作成できる。これを用いれば、サブミクロンの穴径のピンホールも容易に作成できると期待されるのであるが、今回作成したもので最小の径のものは 3 μm であった。これより小さい径のピンホールの作成が困難だった理由は以下の通りである。

(1) サブミクロンの穴径のピンホールを作成するためには、熔融したはんだを微小電極のサブミクロンの先端だけが貫通した瞬間を観察しなければいけない。このためには高解像度の顕微鏡が必要であること。

(2) 上の観察が成功したとしても、装置の温度ドリフトのため、冷却の間にピンホールの基板と微小電極の位置関係がずれてしまい、先端だけが貫通した状態を保てないこと。あまりぎりぎりを狙うと、冷却のときに微小電極が引っ込んで貫通しない状態で固まってしまう傾向があった。はんだごとの温度は 250 度、室温は 25 度であるから、温度差は 225 度もある。この温度変化の間に、図 1-3 に示した装置は実態顕微鏡でもはっきり認識できる大きさの 3 次元的なドリフトをすることが分かった。

しかし以上の問題はあまり本質的ではなく、高倍率の顕微鏡と組み合わせたり、温度ドリフトを抑制するように装置を改良したりすることによって解決できるものと考えている。

ガラス微小電極の先端部はわずかにテーパしているため、guard pinhole として用いる際は寄生散乱の発生を防ぐため、穴径の広い側を下流にする必要がある。しかし穴径の広い側を上流側にすれば、ピンホールにある程度の集光機能を持たせることもできると期待できる。

今回は製造の容易なガラス微小電極(ボロシリケートガラス)を利用したが、代りに石英ガラスの電極を使用すれば先端径を nm サイズまで小さくできるので、nm 径のピンホールの生成も不可能ではないと期待される。石英ガラスは融点が高いため、はんだ等よりもさらに融点の高い一部の貴金属合金(18 金など)でピンホールを作成することも可能になるだろう。そうすれば、長時間使用しても酸化されない理想的なピンホールが完成するであろう。ただし石英ガラスのキャピラリーから微小電極を引くためにはレーザー加熱を用いた特殊なニードルプラーが必要であり、また貴金属を熔融するには高温まで加熱可能な炉が必要になる。

また微小径のアップチャオプティクスでは、X 線がフラウンホーファー回折によって広がるため、極微小径 X 線点光源として新たな応用も開発できるものと期待される。

(Received: March 14, 2019; Early edition: August 30, 2019;

Accepted: December 16, 2019; Published: January 22, 2020)