

【ONSA賞受賞論文】

『超電導小型SR装置を用いたセラミックス微細加工技術の開発』

住友電気工業株式会社 播磨研究所 高田 博史、平田 嘉裕

1. はじめに

マイクロマシン技術は今日の研究開発の中で、最も急速に発展している分野の一つである。製作技術として、マイクロエレクトロニクスの微細加工技術が用いられているが、構造体の高さが数 $\mu\text{m}$ に限定される。それを打破する技術として、SR（シンクロトロン放射光）を用いる深いX線リソグラフィにより、任意の断面形状を有し、高さ数百 $\mu\text{m}$ の構造体が製作できる微細加工技術が注目を集めている。

深いX線リソグラフィには、2~3 $\text{\AA}$ 以下のSRが高強度で得られる電子エネルギー2GeVクラスの中型SR光源（直径約50m）が適しており、産業用に開発された1GeV以下の小型SR光源は適用できないと考えられていた。さらに、深いリソグラフィを用いて機能性を有するセラミックスの微細構造体を製作した例はない。

そこで、医療用超音波素子、インクジェットプリンタヘッド、ジャイロなどの用途で微細化への期待が大きい圧電セラミックス（PZT：チタン酸ジルコン酸鉛）を対象に、小型SR光源を用いた深いリソグラフィを応用した微細加工技術を開発した。

2. セラミックス微細加工技術

図-1に示す工程で微細PZT柱列の製作を行った。詳細について以下に述べる。

2.1 小型SR光源を用いた深いリソグラフィ

当社が開発した超電導小型SR光源（0.6GeV、直径約5m）は、ピーク波長が約5 $\text{\AA}$ であり、深いリソグラフィに有効な2~3 $\text{\AA}$ 以下のSR強度が低く、従来レジスト（PMMA：ポリメタクリ

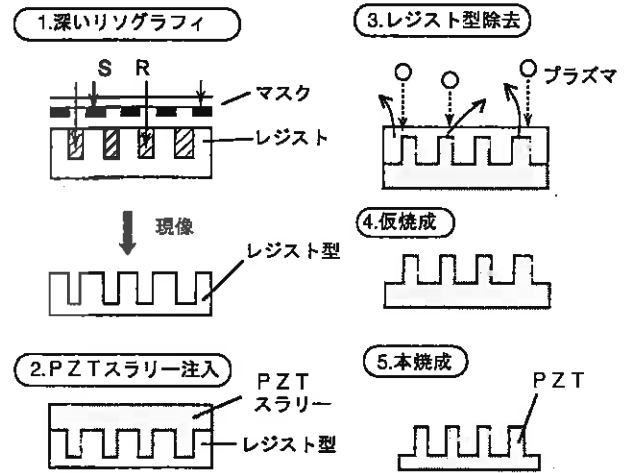


図-1 SRを用いた微細PZT製作プロセス

ル酸メチル)では照射時間が非常に長く実用的でない。そこでビームラインの短尺化によるSR強度向上を図るとともに、低強度の短波長成分を有効に利用するべく、X線透過性に優れたメンブレンと厚膜吸収体を有するマスクの製作技術および高感度レジストを開発した。

マスクの構成を図-2に示す。2~3 $\text{\AA}$ のSR透過性を向上するため、支持膜を窒化シリコンとした。吸収体となる重金属（タングステン）の厚いスパッタ膜を精度よくドライエッチングする方法を世界で初めて開発し、吸収体の欠陥や膜厚不均一性を抑制した製作プロセスとして完成させた。製作マスクの例を写真-1に示す。

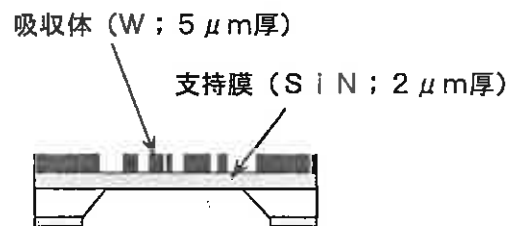


図-2 マスクの構成

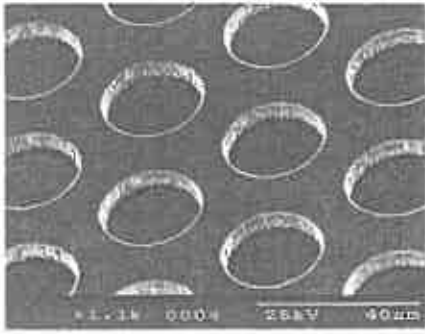
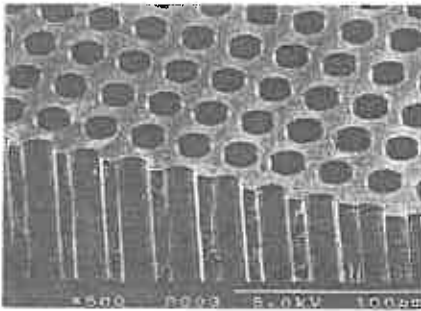
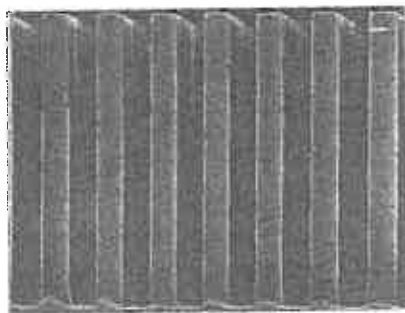


写真-1 マスク (吸収体の孔径: 20 μm、  
吸収体の厚さ: 5 μm)

深いリソグラフィ用のレジストとして、厚膜塗布が行え、感度および解像度ともに優れたMMA (メチルメタクリレート) とMAA (メタクリル酸) の共重合体を開発した。現像液はMiBK (メチルイソブチルケトン) を使用し、0.4kJ/cm<sup>2</sup> の感度を得た。PMMAの感度は4kJ/cm<sup>2</sup> であり、10倍の高感度化が図れた。写真-2にレジストパターン例を示す。以上の結果、中型SR装置を用いた場合と遜色のない照射時間で微細なレジスト構造体が形成可能となった。



(a) レジスト型 (孔径: 20 μm、孔深さ: 150 μm)



(b) レジスト柱 (直径: 10 μm、高さ: 150 μm)

写真-2 レジストパターン

## 2.2 セラミックス柱製作技術

写真-2 (a) に示したレジスト型に、PZT原料粉末とバインダー、溶剤等を混練りしたスラリーを注入し、乾燥・固化させた後、レジスト型を除去して焼成する方法で微細なPZT柱列を製作した。型の除去は通常熱分解によって行われるが、PZT柱が微細・高アスペクト比化すると倒壊する問題があった。そこで両工程を分離し、レジスト樹脂型除去をプラズマエッチングで行ない倒壊を防止する新規な方法を開発した。写真-3に製作したPZT柱列を示す。直径20 μm、高さ140 μm、密度2000本/mm<sup>2</sup> である。従来のセラミックス微細加工限界は断面が100 μm角程度であったが、大幅に微細・高アスペクト比化することに成功した。

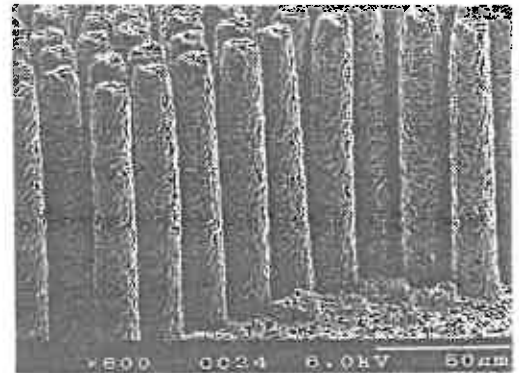


写真-3 PZT柱列 (直径: 20 μm、  
高さ: 140 μm)

上記のPZT柱列に樹脂を含浸した世界最小の複合圧電材料振動子 (図-3、写真-4) を試作し、良好な音響特性が得られることを確認した。この振動子はマイクロマシン間の水中通信デバイスや医療用超音波診断装置用プローブ材料として有望視されている。

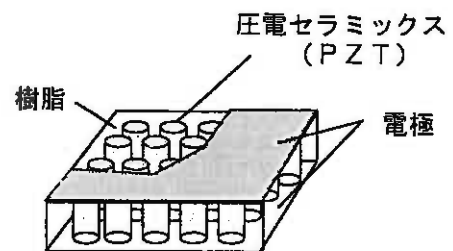


図-3 複合圧電材料の概念図

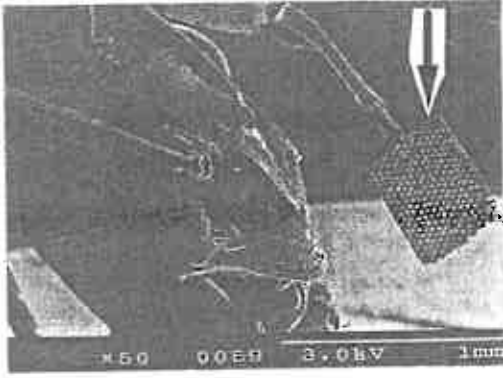


写真-4 試作したマイクロ複合圧電振動子  
(400×500 μm、厚さ 100 μm、  
PZT直径 20 μm、電極を付ける前の状態)

### 3. おわりに

マイクロマシン技術関連の市場は今後大きく成長し、広範な産業分野で多大な貢献をするものと期待される。深いリソグラフィを用いた微細加工技術は微細で高アスペクト比の加工が可能であること、適用材料の選択範囲が広いことなど、他の加工技術にない特長を有している。今回開発した技術によって、産業用小型SR光源による深いリソグラフィが可能となり、また、従来方法では困難であったセラミックスの微細加工を実現したことにより、実用化に弾みがつくものと考えられる。

なお本研究の一部は、工技院産技プロジェクトの一環として、NEDOから委託を受けた(財)マイクロマシンセンターの再委託業務として実施したものである。

### 【技術トピックス】

#### 電子線・ガンマ線照射サービス会社誕生

原子力産業新聞などによると、住友金属鉱山㈱および住友重機械工業㈱は、共同で医療器具などの放射線照射サービスを行なう新会社『日本照射サービス㈱』（社長：高木俊毅氏）を設立したことを発表した。

昨年6月より施行された薬事法改正にともなうて、医薬品などの品質基準が強化され、従来からのガス滅菌などでは滅菌工程や品質管理で新基準への対応が出来ず、これに変わって電子線・ガンマ線照射による滅菌法が注目されている。また、消費者の嗜好が「きれい・清潔・衛生」などの要求が強まるなかで、化粧品や食品の容器などを滅菌するニーズも高まりつつある。

大手の医療用具メーカーでは既にガンマ線照射施設を有している企業が4社に上がっているものの、中小メーカーでは自社で行なってきたガス滅菌から委託処理に切り換える向きにあり、新薬事法施行の移行期間が過ぎる平成9年7月以降には滅菌市場の大幅な拡大が見込まれている。

住友重機械工業㈱は電子線照射装置のメーカーでもあり、平成元年から茨城県つくば市で電子線照射サービスを行なっており、今年4月にはこの分野でのISO 9002の認証も得ている。また、住友金属鉱山㈱は長年にわたり原子力関係事業に携わり、ガンマ線などの放射線取扱い技術を有している。

新会社は本社を東京都港区に置き、つくばの電子線照射装置を移管し、これに加えて茨城県東海村にある住友金属工業㈱の子会社である日本核燃料コンバージョン㈱の敷地内にガンマ線照射装置を、大阪地区に電子線照射装置を新設する。施設の建設はただちに開始され、照射サービスをそれぞれ平成9年10月、同7月から開始する計画である。

放射線照射の有用性が叫ばれてすでに四半世紀以上を経過した。O-157の問題もあり、放射線照射が再度脚光を浴び、これが工業的に拡大されることを祈りたいものである。