

大口径イオンビームミリング装置の開発

Development of Large Scale Ion Beam Milling Machines

電子機器の高速化、高集積化に伴い、高精度の超微細加工技術がますます重要になっているが、開発したイオンビームミリング装置は、この要求にこたえ電子機器の高性能化を実現する有力な手段である。

本装置は、核融合装置のプラズマ加熱用中性粒子入射装置の技術を応用して開発した、低発散角で均一なビームを発生する大口径イオン源、及び16枚の基板を同時に処理可能で、ビームに対し任意の傾斜角で自転、公転運動をする水冷基板ホルダとを備えたコンパクトな構成としている。

この結果、加工ばらつきは±3%以下の高精度と従来にない高スループットとを実現することができた。

有松 啓治* Keiji Arimatsu
橋本 勲* Isao Hashimoto
大石 鉦太郎* Shōtarō Ōishi
佐藤 忠** Tadashi Satō
鍬塚 俊一郎*** Shun'ichirō Kuwazuka

1 緒 言

イオンビームの運動エネルギーにより、被処理物を物理的に加工するイオンビームミリングは、図1にその原理を示すように完全な異方性加工であり、極めて高精度な微細加工が可能である。

日立製作所では、核融合装置のプラズマ加熱用に開発した中性粒子入射装置の技術を応用して、大口径イオンビームミリング装置を開発した。本装置は、大口径でビーム特性の優れたイオン源と多数の基板を同時に処理できる基板ホルダとを備え、高精度加工と高スループットを実現している。

近年、LSIデバイスの微細化、あるいは大容量磁気ディスク記憶装置などの各種磁気ヘッドの薄膜化などに伴い、高速・高精度の微細加工技術が従来にもまして要求されているが、本装置はこれらの要求にこたえ、更に、アルゴンイオンのほかCF₄などの活性ガスイオンによる低発散角で大容量のビーム照射が可能など、多くの特長から幅広い応用が期待される。

本稿では、本装置の構造、特長及び性能検証試験結果につ

いて述べる。

2 装置の構成

2.1 仕 様

開発した装置の主な性能仕様を表1に示す。本装置は、従来にない高スループットを達成するため、16枚(従来最大8枚)の基板を同時に処理することが要求され、このため、直径580mmの大口径イオン源を開発した。高精度加工のため、ビーム発散角は5度以下、また、高速処理のためビーム電流密度は1mA/cm²とした。均一な加工を行なうため、基板に自転、公転の運動を同時に、また、運転中にイオンビームに対して任意の傾斜角を与えられる基板ホルダの開発を行ない、ミリング速度の基板内ばらつきは最終的に±4%以下を目標とした。

2.2 構 成

装置の基本構成を図2に、外観を図3に示す。

本装置は以下の特長をもっている。

(1) 直径580mmの世界最大口径のイオン源を備えている。

(2) 発散角の小さい、平行で均一なビームが引き出せる。

(3) ビーム電流が大きい。

(4) 16枚の基板を同時に処理できる。

(5) 平行均一ビームと自転・公転基板ホルダとにより、基板全域にわたって一様な加工が可能である。

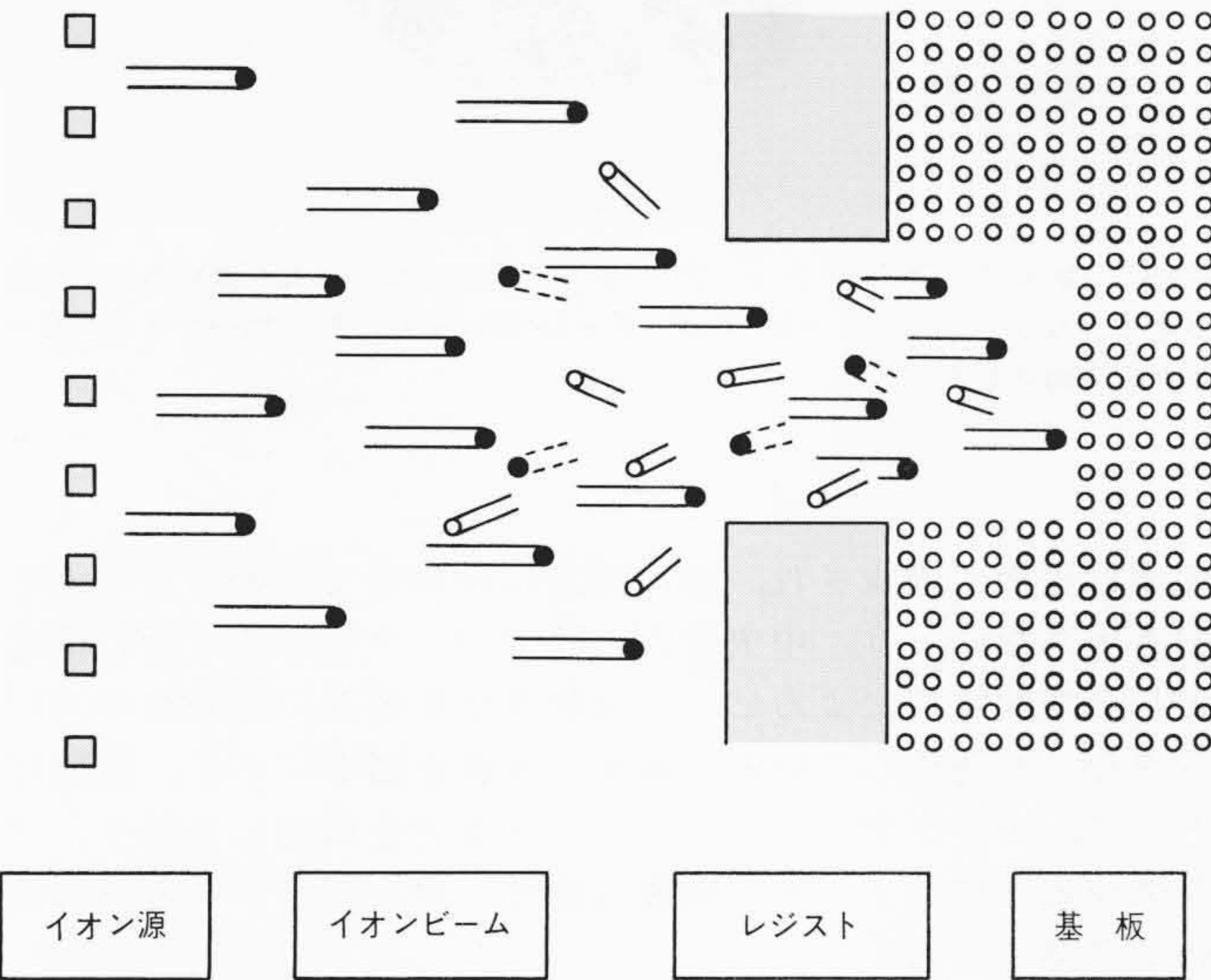
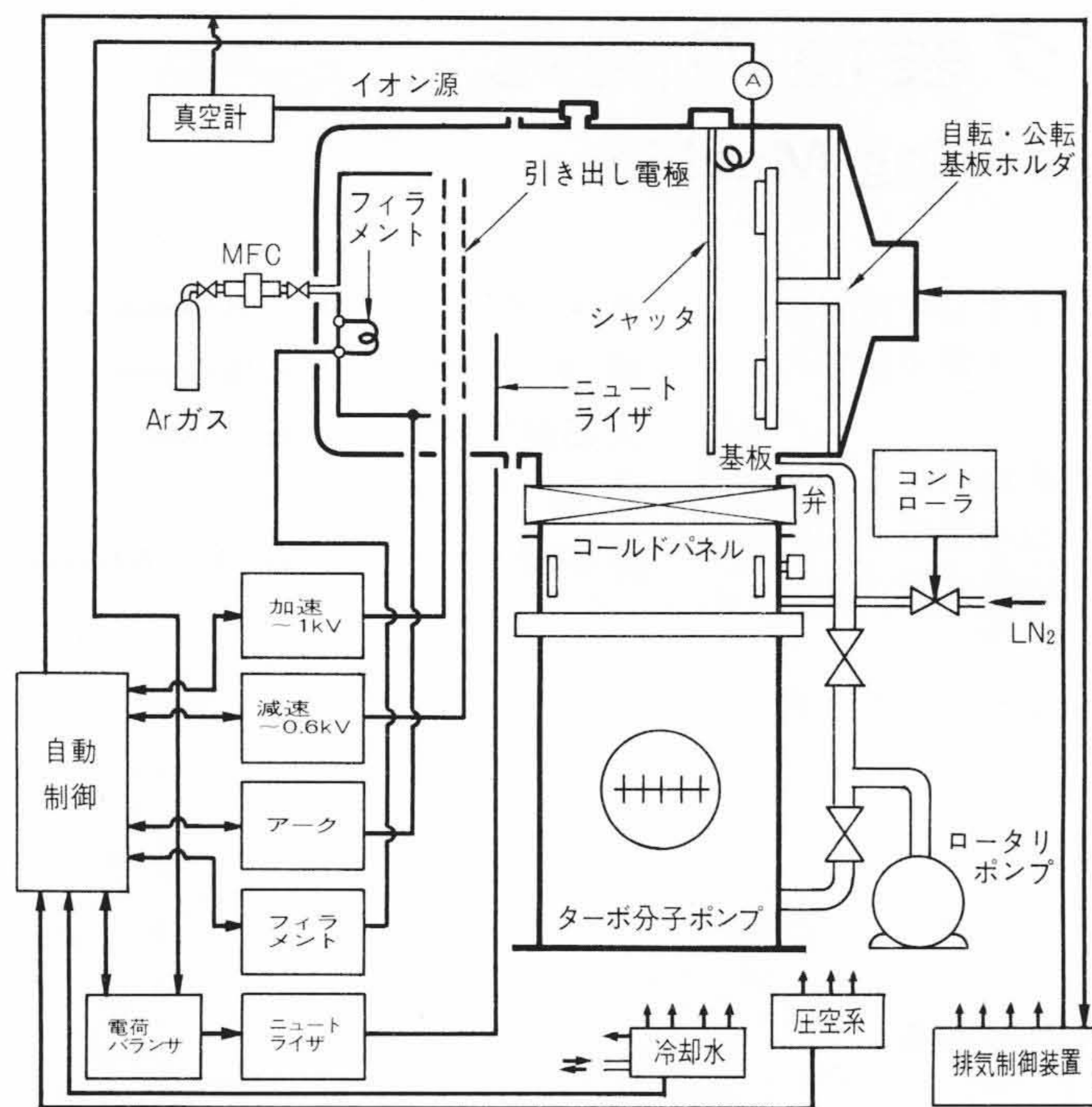


図1 イオンビームミリングの原理 イオンビームの直進性を利用し、基板の物理的加工を高精度で行なう。

表1 イオンビームミリング装置の主な性能仕様 ビーム発散角の小さい高性能イオン源と自転・公転基板ホルダにより、ばらつきの少ない優れた加工性能を実現した。

項 目		仕 様
イオン源	口 径	φ580
	ビ ー ム 発 散 角	5°以下
	ビ ー ム 電 流 密 度	1 mA/cm ²
	使 用 ガ ス	Ar, CF ₄ など
基板ホルダ	同 時 処 理 枚 数	16
	動 作	自転, 公転, 全体傾斜
	基 板 温 度 上 昇	70℃以下
処理性能	真 空 到 達 時 間	30分以内(5×10 ⁻⁶ Torr)
	ミリング速度ばらつき	±4%以下(3σ)

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所小田原工場



注：略語説明 MFC(Mass Flow Controller)

図2 イオンビームミリング装置の構成 本装置は、バケット形イオン源、自転・公転基板ホルダ、真空排気系、電源及び制御系から構成される。

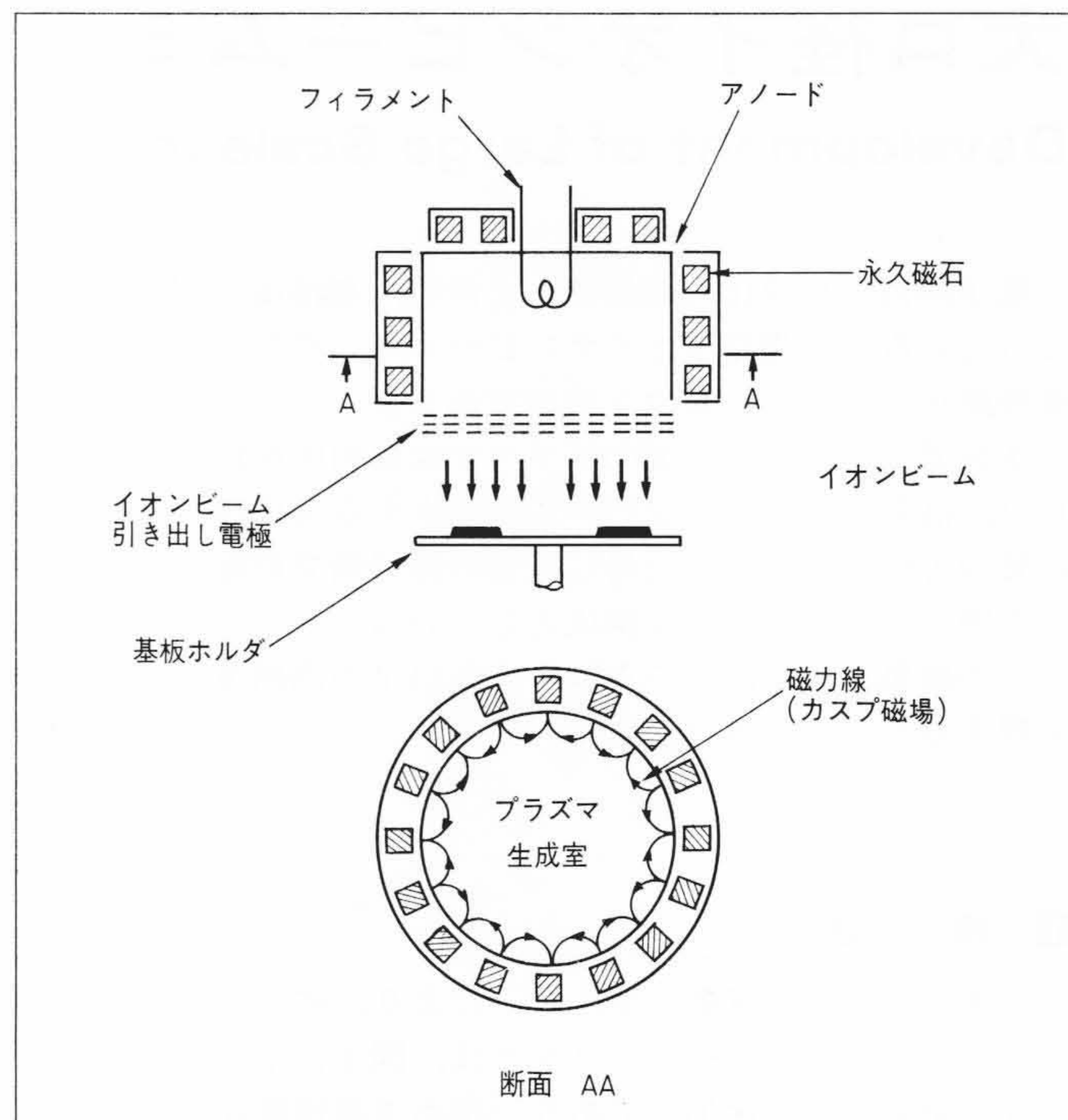


図4 バケット形イオン源の構造 バケット形イオン源は、電極付近で磁場の影響を受けないため、平行なイオンビームを引き出すことができる。

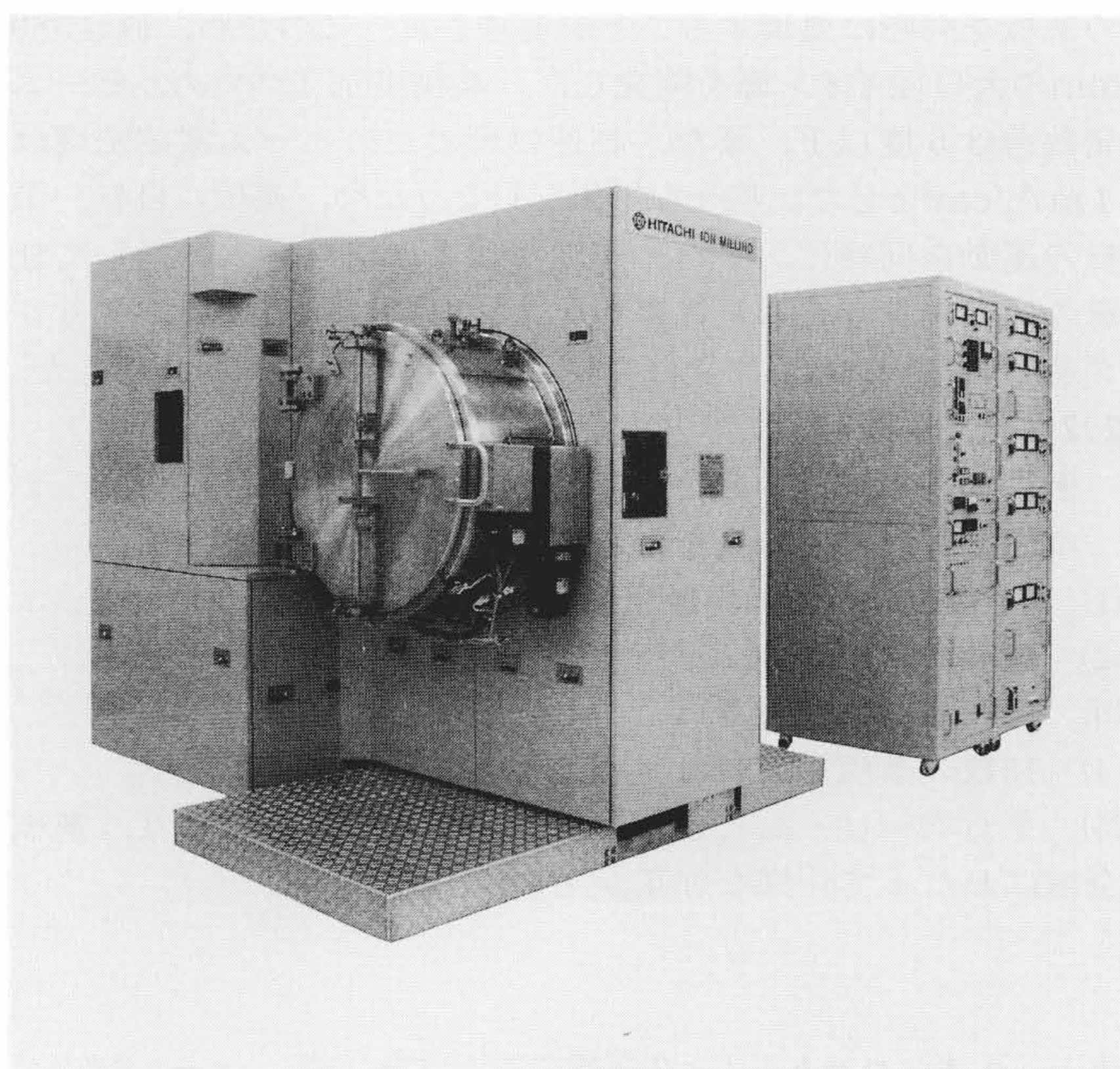


図3 日立大口径イオンビームミリング装置 世界最大口径のイオン源と同時16枚処理の基板ホルダをもつ、ミリング装置の外観を示す。

また、処理室は清掃性を考慮し、ワンタッチ分割できるなどメンテナンス性、安全性などを十分に配慮した設計としている。

3 イオン源

3.1 構造

本装置に適用しているバケット形イオン源の構造を図4に示す。プラズマ室の周囲に配置した永久磁石によりカusp磁場を形成し、閉じ込めたプラズマから電極を介してイオンビームを引き出す。電極は多数の孔(アパーチャ)を備えた2枚

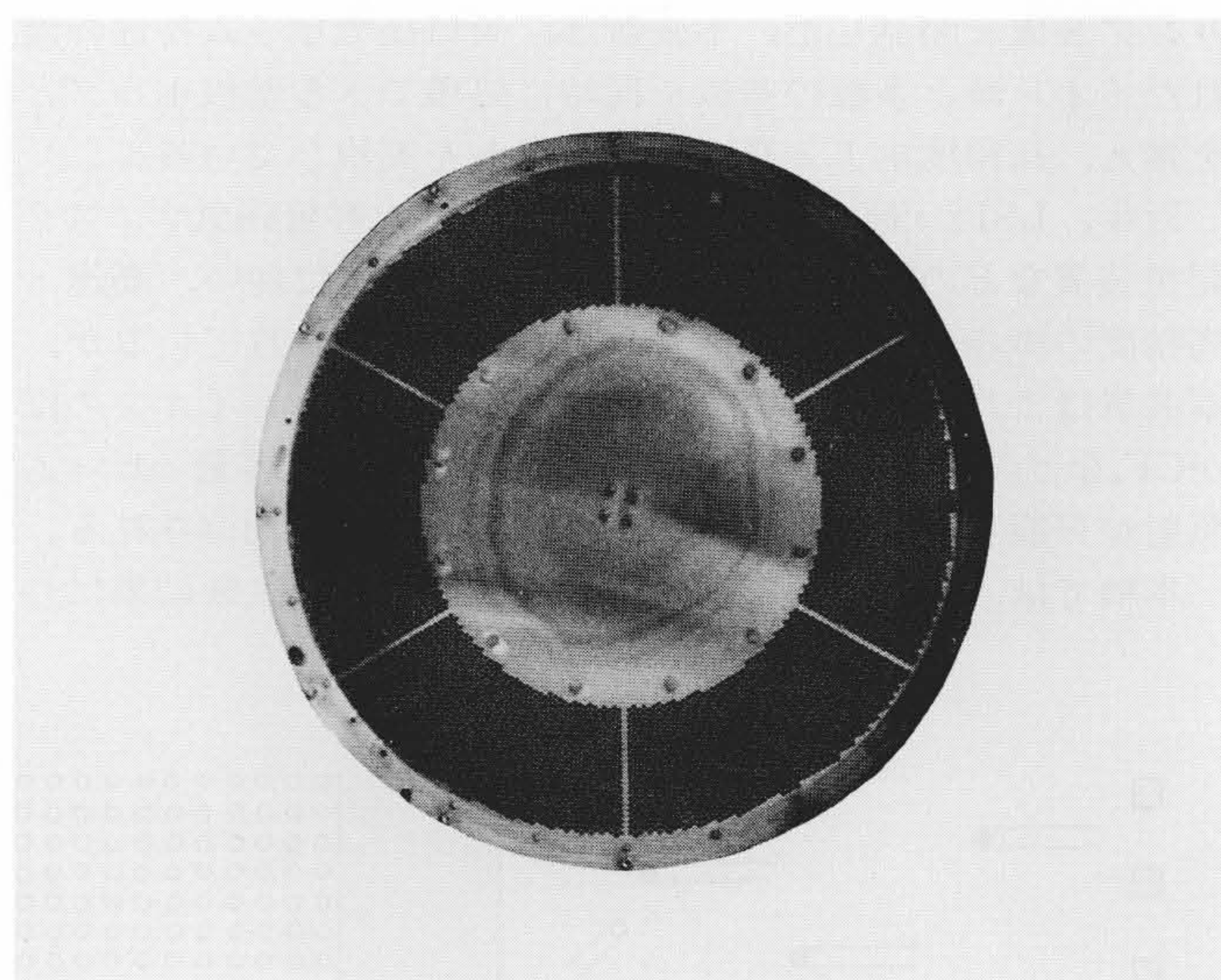


図5 マルチアパーチャグリッド 平行配置された複数の板で構成されるグリッドには多数の孔(アパーチャ)が設けられ、平行均一なイオンビームが引き出される。

の平行平板で構成され、基板配置に合わせて不要なビームを引き出さないよう、中央付近にはアパーチャを設けない構造とし、空間電荷によるビーム発散及び不要部の熱発生やスパッタなどを防止している。電極の写真を図5に示す。電極材として、モリブデン、グラファイトなどを用意しており、プラズマ室はワンタッチで開放可能で、フィラメント交換は極めて容易である。

また、バケット形イオン源は、プラズマ生成用磁場として図4に示すカusp磁場を用いるため、外部磁場が極めて小さく、特に、磁場の影響を嫌う材料の加工に適している。なお、同図から明らかなように、外部磁場が小さいことはビーム引出し部でのビーム発散の防止に効果があり、平行なビームを引

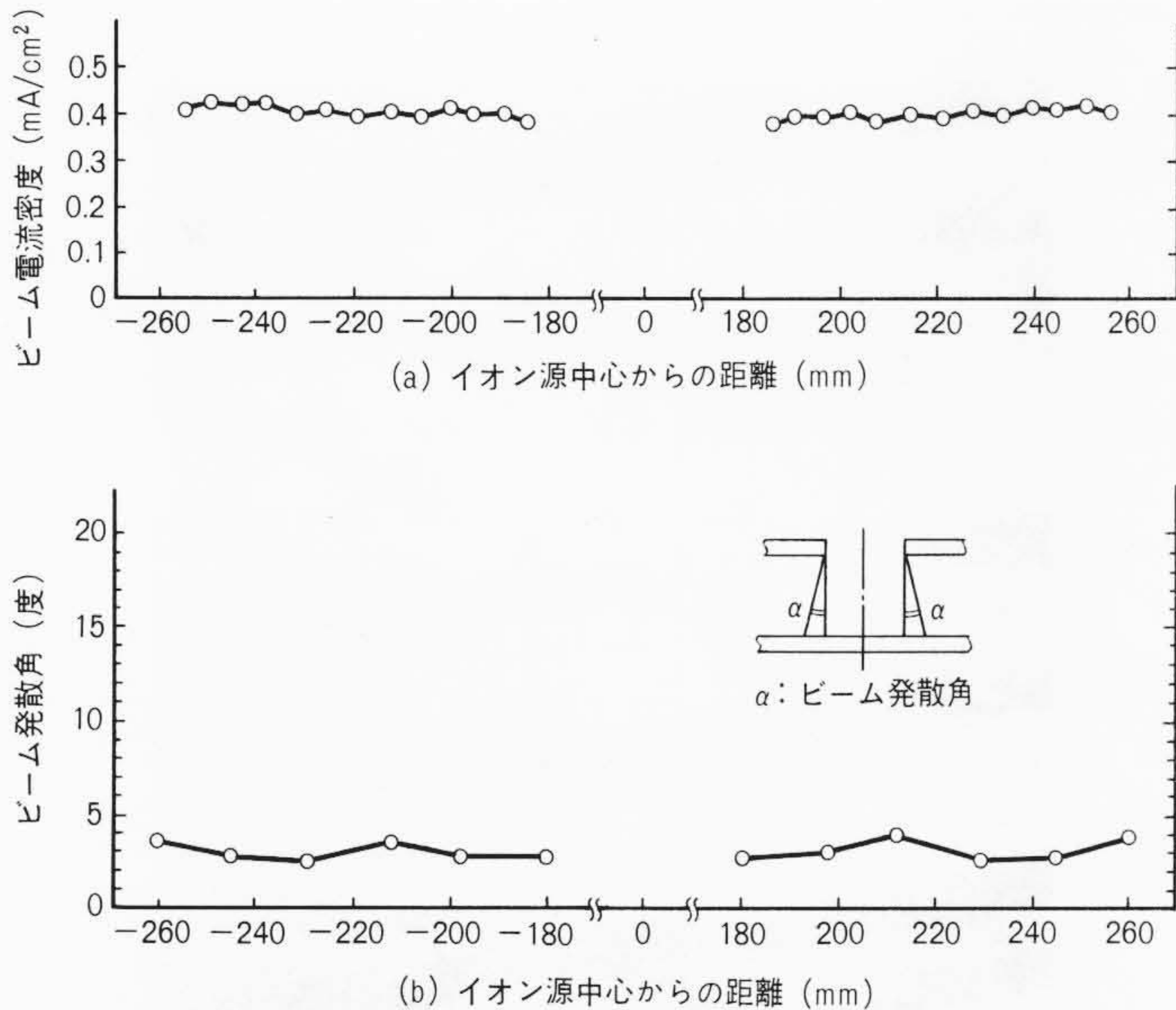


図6 イオン源の性能 均一なビーム電流密度、低発散角をもつ高性能イオン源を開発した。

き出すことが可能になる。更にビーム径が大きいため、16枚の基板を同時にイオン照射でき、ミリング中の基板へのじんあいの付着を防止できる。

3.2 性能

ビームの一様性、電流密度などイオン源の性能を示すビーム特性について測定した。測定結果の一例を図6に示す。

ビーム電流密度は、基板ホルダ上に多数配列したファラデーカップにより測定した。ビーム発散角は、図6中に示すように、2枚の平板の一方に孔を開け、孔を通過したイオンビームが、もう一方の板に衝突して生じたこん跡と孔の大きさの比から求める簡便な方法によった。

基板位置の全域にわたってビーム電流密度は一様であり、ビーム発散角は4度以下という極めて低発散角の性能を示している。

4 基板ホルダ

4.1 構造

ビーム照射条件が全基板にわたって同一となるように、図7(a)に示すように基板は円周配置とし自転運動、公転運動をする以外に、さまざまな加工条件に対応できるように、ビームに対して任意の傾斜角で運転できる機構を開発した。基板の傾斜は同図(b)に示すように個々の基板がそれぞれ傾斜する方法(個別傾斜)と、同図(c)に示すように公転面全体が傾斜する方法(全体傾斜)とがあり、いずれの構造も開発した。

個別傾斜方式は、基板とイオン源との距離が基板の公転位置によって変化せず、また、処理室内径を小形化できるなどの利点をもつが、傾斜角度には制約がある。本装置には基板面が下方に指向し、じんあいなどが付着する可能性の少ない全体傾斜方式を採用した。

4.2 性能

開発した基板ホルダは、自転、公転、傾斜各動作の寿命試験を行ない、冷却性能を検証するため運転中の基板温度上昇試験を行なった。試験は基板ホルダ表面にはったサーモラベルにより温度を測定する方法で行なった。ビーム電流密度1 mA/cm² 1時間の条件でも温度上昇は50℃以下である。

5 排気システム及び処理室

図2に本装置の排気システム系統図を示したが、主排気にターボ分子ポンプを用い、クリーン化、保守性の向上、小形化を図っている。更に、ターボ分子ポンプの加工室側にLN₂による冷却パネルを設け、排気コンダクタンスは下げずに、水分などを高速排気し、真空の立上りを速くしている。

また、処理室はワンタッチで2分割できる構造になっており、保守性の向上を図った。

6 電源制御システム

イオン源用電源は汚損などによる電極間放電からグラファイト電極を損傷しないように、放電破壊時は高圧電源を自動遮断してすぐに自動復帰するようになっており、処理は継続

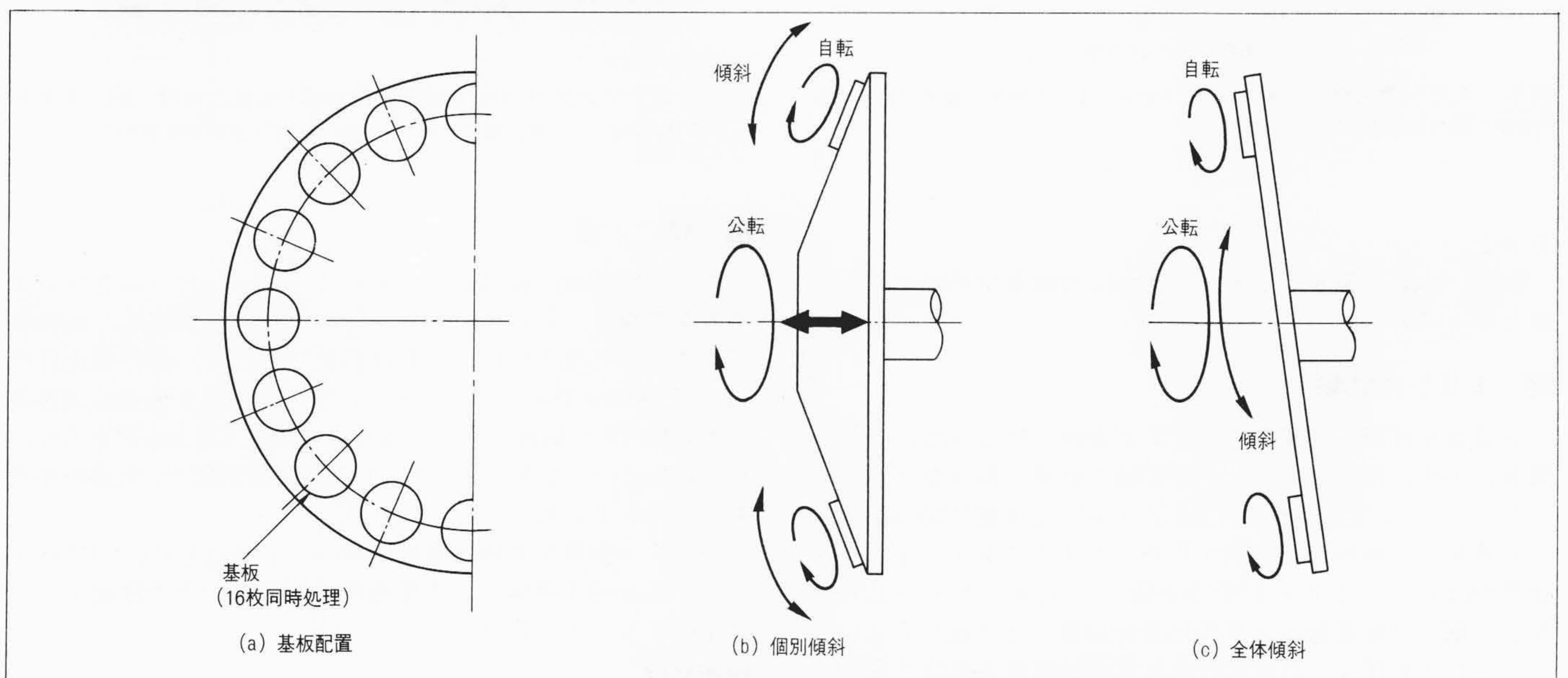


図7 基板ホルダの傾斜方法 16枚の基板が基板ごとに傾斜する個別傾斜方式、公転面が傾斜する全体傾斜方式、いずれをも開発した。今回は全体傾斜方式を採用した。

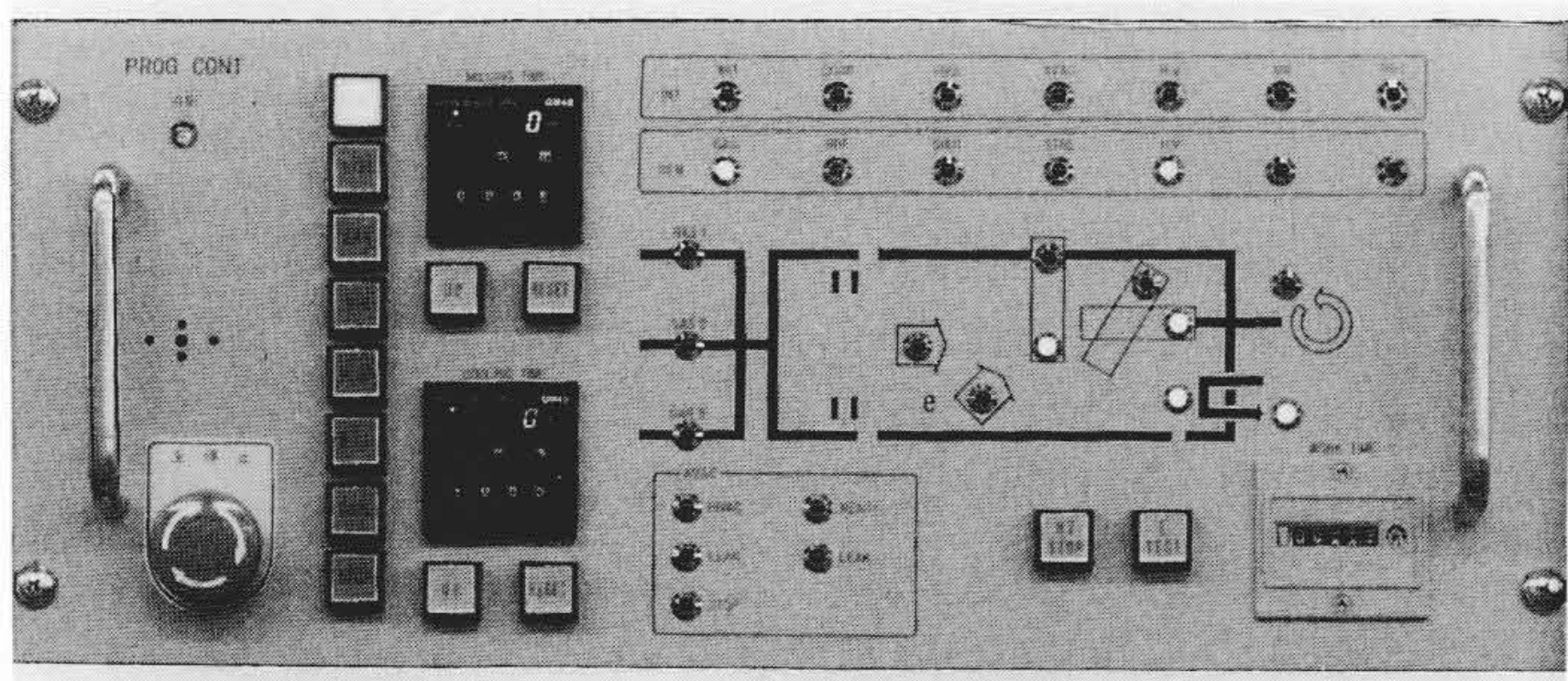


図8 制御パネル 自動、手動いずれの操作も可能な制御パネルを示す。

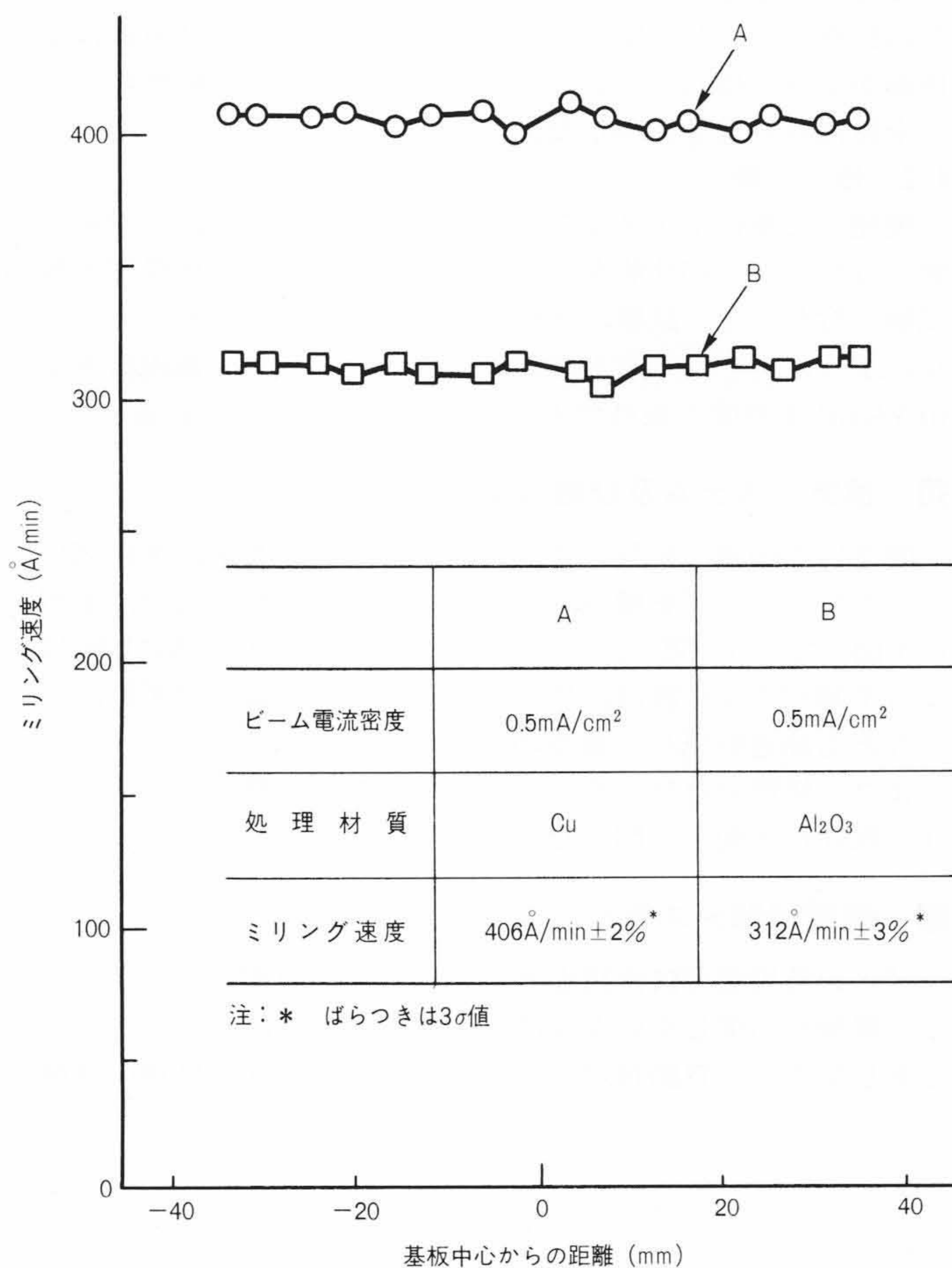


図9 ミリング性能 実際にミリングを行なった結果、極めてばらつきの小さい優れた加工性能を検証できた。

できる。

制御パネルを図8に示すが、運転は自動及び手動操作が可能となっている。

7 ミリング試験

本装置を使用して実際にミリング実験を行なった。一例を図9に示す。同図のミリング対象物の材質は銅及びアルミナであり、ビーム電流密度は0.5mA/cm²、加速電圧600V、ビームと基板との傾斜角は10度で行なったものである。ミリング速度のばらつきは2～3%(3σ値)で平行均一なビーム特性及び自転・公転基板ホルダの効果が顕著に示されている。

ミリングを行なった基板の走査電子顕微鏡写真像を図10に示す。再付着、その他完成後のデバイスに悪影響を与えることのないシャープなプロファイルになっている。

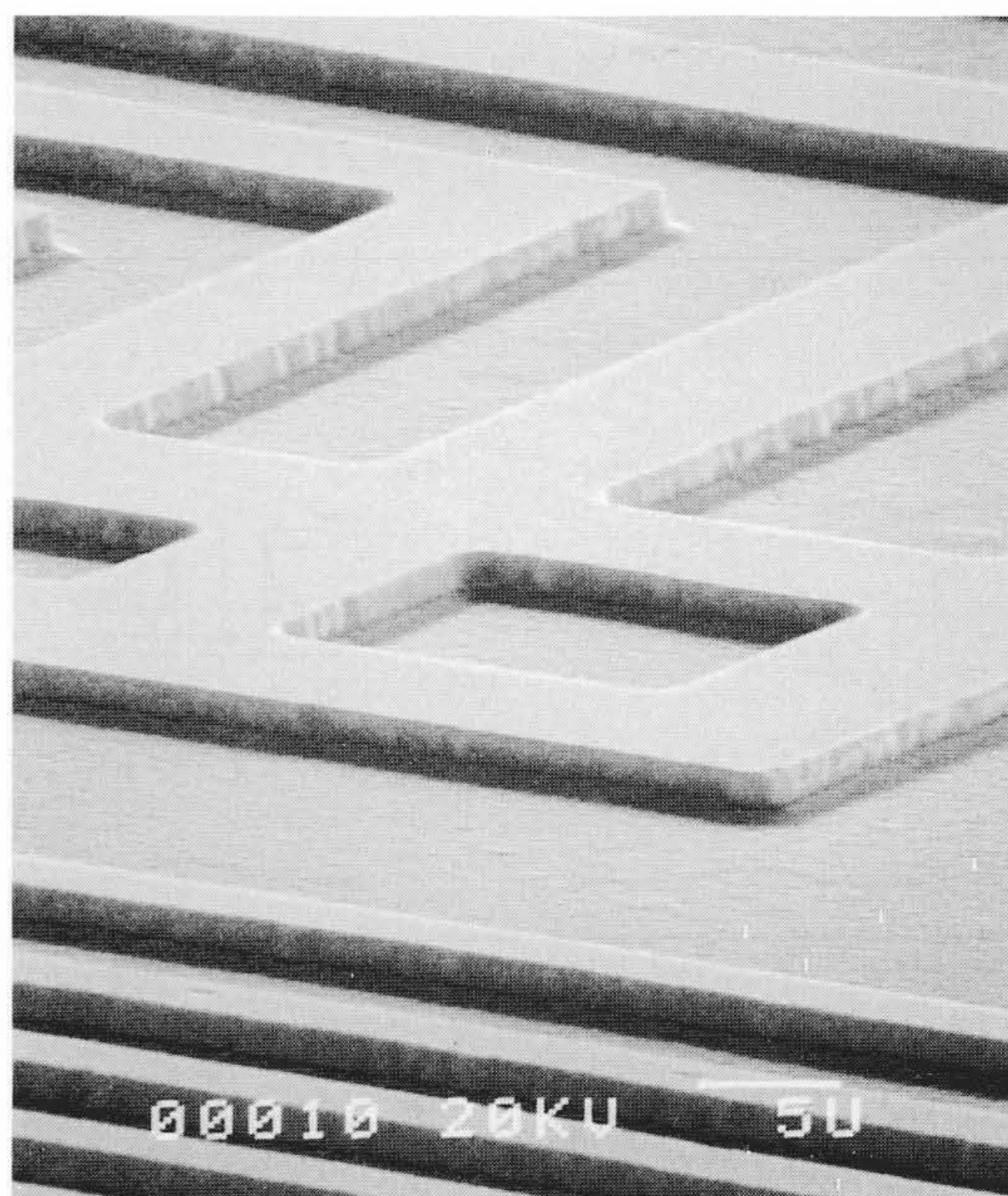


図10 ミリング状況の走査電子顕微鏡像(被加工材質：銅、イオン種：アルゴン) 再付着のないシャープなミリングを実現できた。

8 結 言

高速、高精度の超微細加工を行なうイオンビームミリング装置を開発し、その検証試験を行なった。本装置は、核融合プラズマ加熱用中性粒子入射技術を応用した、世界最大口径(直径580mm)で平行均一なイオンビームを引き出せる大容量イオン源、及び同時に16枚の基板を処理できるホルダをもち、基板内加工ばらつき2～3%(3σ値)の高精度で、大量の処理を可能にしている。

今後、本装置が各種の薄膜磁気ヘッドをはじめ、バブルメモリ、化合物半導体などの微細加工分野で、その性能を大いに発揮することが期待される。

参考文献

- 1) Y. Ohno, et al.: Bucket-type ion source for ion milling, J. of Vacuum Science & Technology May-June '86