大容量イオンビームミキシング装置の開発

Development of a Large Current Ion Beam Mixing Apparatus

新材料の研究開発が進むなかで、金属表面改質技術としてイオン注入と蒸着を併 用するイオンビームミキシングが注目されている。今回、核融合用イオン源技術を 応用し、連続定格の大容量、高効率イオン源を開発し、これを用いた大容量イオン ビームミキシング装置を開発した。本装置は更に、イオン源放電時の高速遮断、高 速再立上げが可能で高信頼性化を図っているとともに、パルス運転、自動運転、蒸 着装置との同期運転が可能となっている。また、イオン源の高効率化に成功し、電 源、冷却装置を小形化し、大容量にもかかわらずコンパクトな装置となっている。 また、イオンビームミキシング法によりAl、Feなどに代表される金属上に、低温で 密着性の良いTiN膜を生成し、評価を行なった。

佐藤	守*	Mamoru Satô
田中	滋**	Shigeru Tanaka
橋本	勲**	Isao Hashimoto
瀬戸山英	[嗣**	Eiji Setoyama
下條哲	男***	Tetsuo Gejô
佐藤	中****	Tadashi Satô

1 緒 言

現在,新材料の研究開発が進められているなかで,金属に対するさまざまな表面改質技術が開発,実用化されている。

従来,半導体用として開発されたイオン注入技術を応用し, 母材の性質とは無関係な性質をもった表面を作る技術が世界 的に脚光を浴び研究開発されており,一部実用段階に入って

2 ダイナミックミキシングとその特長

イオン注入とは,真空中で注入したい粒子をイオン化し, 加速して固体基板に注入する方法[図1(a)参照]である。一方, ダイナミックミキシングは固体基板表面に蒸着膜を生成しな がらイオン注入を行ない,母材に打ち込まれたイオン種原子, 蒸着金属及び母材とで境界面のない混合層を生成し,密着性

いる。

更に,最近,このイオン注入に金属蒸着を併用したダイナ ミックミキシングと言われる方法が,日本を中心に開発され つつある。この方法は低温処理が可能で,非熱平衡プロセス で合金を作れるなどの特長をもっている。この技術により部 分的ではあるが,CBN(立方晶窒化ホウ素膜)作製に成功して いる¹⁾。

日立製作所では、早くからこの技術に注目し、装置の開発 を進めてきた^{2)~5)}。従来の半導体用イオン注入機は小容量であ り、半導体の100~1,000倍の注入量を必要とする金属表面改 質用の実用装置としては問題がある。今回、核融合装置プラ ズマ加熱用に開発したイオン源技術により、大容量の連続定 格イオン源を開発し、それを用いた実用レベルのイオンビー ムミキシング装置を開発した。

本稿では、本装置の構造、特長、生成膜の性状、応用分野 などについて述べる。



の良い膜を生成する方法〔図1(b)参照〕である。そのプロセス のモデルを図2に示す。改質層は前者が0.1µm前後なのに対 し,後者は任意の膜厚に生成できる。

ダイナミックミキシングの主な特長は以下のとおりである。 (1) 母材と表面処理層の間に混合層が生成され,従来の成膜 法に見られる層間の境界がなく,密着性が格段に良い膜の生 成が可能である。

(2) 低温処理のため、従来処理のような母材の熱変形がなく、 最終形状での処理、また繰返し処理が可能である。

(3) 表面処理と膜生成が非熱平衡プロセスであり、蒸着とイ



59

図 | ダイナミックミキシングとイオン注入の比較 ダイナミック 図 2 ダイナミックミキシングモデル ダイナミックミキシングは、 ミキシングは、イオン注入と蒸着を同時に行なうため、任意の厚さの改質膜を 蒸着とイオン打込みを同時に行ない、任意の膜厚の混合層を形成できる。 生成できる。

* 通商産業省工業技術院大阪工業技術試験所 ** 日立製作所国分工場 *** 日立製作所機電事業本部 工学博士 **** 日立製作所日立研究所

822 日立評論 VOL. 68 No. 10(1986-10)





図4 イオンビームミキシング装置の外観 本装置は40kV, 0.2A (連続)のイオン源, IOkW電子ビーム蒸着装置を備え, 従来に比べ非常にコンパ クトな外観となっている。

表 | イオンビームミキシング装置の主な仕様 イオンビームミキ シング装置の主な仕様を示す。

注:略語説明 GTO(ゲートターンオフ), SCR(サイリスタ)

図3 装置構成 本装置は、イオン源、試料ホルダ、EBガン蒸着装置、 膜厚計,真空排気装置,電源及び制御系から構成される。

オン注入の混合比が選択可能で, 生成膜の組成制御が可能で あり,再現性にも優れている。

(4) 注入イオンは数億度相当のエネルギーをもっているため、 ダイヤモンドライクの新物質の生成にも応用可能である。

3 イオンビームミキシング装置

3.1 装置全体構成

今回開発した装置の構成を図3に、外観を図4に示す。

イオン源からの出力ビームを,水冷回転式ホルダに取り付 けられた試料に照射し、イオン注入を行なうとともに、電子 ビーム蒸着装置から各種材料を蒸発させ試料に蒸着させる。

イオンビーム電流はファラデーカップで, 蒸着速度は膜厚 モニタで測定し,両者の割合を制御しながらの膜生成が可能 である。

主な仕様を表1に示す。

3.2 イオン源

60

イオン源は核融合装置で開発したバケット形イオン源を採 用した。その基本構成を図5に示す。フィラメント~アノー ド間の放電により生じたプラズマを永久磁石によるカスプ磁 場で閉じ込めることにより、大面積での均一プラズマができ る。これにより、従来の半導体用イオン注入機に用いられて いたフリーマン形イオン源のビーム径数センチメートル角で 10mA前後の出力に比べ、数十センチメートル径でアンペアク

項目	仕様
イオンビーム径	ø150mm
イオンビーム出力	40kV, 0.2A(連続), 0.4A(パルス)
イオンビーム入射方向	45° • 90°
電源制御	40kV直流半導体スイッチ
電子ビーム蒸着装置	10kW 4 ハース切換式
試料ホルダ	水冷回転機構付き 熱電対による試料温度モニタ付き
電源	自動運転・手動運転切換式
排 気 装 置	自動運転・手動運転切換式

(2) 磁場解析による磁石配置の最適化によりプラズマ発生効 率を高め, 高効率イオン源とした。

(3) 絶縁支持部材へのスパッタ物付着及びイオン源へのごみ の落下を防止する構造とした。

(4) アーク室フランジ部にヒンジ構造を採用し、フィラメン ト交換など保守作業性を向上した。

3.3 真空容器内構成

真空容器内構成を図3に示す。本装置は試料ホルダ, 電子 ビーム蒸着装置,ファラデーカップ,膜厚モニタから成って いる。

(1) 試料ホルダは、直径150mmまでの試料を取り付けられ、 水冷式で速度可変回転機構を備え,また熱電対による回転中 の試料の直接測温が可能である。

ラスのイオン源を開発済みであり、多量のイオン注入を必要 とする金属表面改質には最適のイオン源と言える。 今回のイオン源は,

(1) 電極構造はビーム発散角,絶縁性を考慮してコンピュー タによる電界解析を行ない,決定した新方式の構造を採用し, 一段と性能・信頼性を向上した。

(2) 電子ビーム蒸着装置は、四つのハースを備え、更にシャ ッタとイオン源電源を連動するパルス運転が可能となってい 3. 3.4 排気装置

本装置はターボ分子ポンプを備え、クリーンな真空と10⁻⁵Pa の到達真空度が可能で,運転時の操作性を考え,手動運転の ほか自動シーケンス運転が可能となっている。

3.5 電源·制御

(1) 世界初の40kV直流GTO(ゲートターンオフ)採用のマスタ スレーブ形半導体スイッチをもち, イオン源内放電時の高速 遮断・高速再立上げが可能であり, 信頼性はもちろん時間的, エネルギー的効率の向上を図っている。外観を図6に示す。 (2) 自動シーケンス運転・手動運転が可能である。

イオンビーム出力時間,休止時間,全出力時間を任意に設 定でき、これによりイオン注入量の制御が可能で、任意のパ ルス処理プログラム設定により種々の処理が可能である。 各電源は低圧側制御を行ない, 信頼性, 操作性を向上し (3)た。

(4) 装置は、小形化及び保守性の向上を図った。



4 生成膜の性状

図7はチタンと窒素を用いたダイナミックミキシングによ りAl-11%Si合金上に生成した約1.0µm厚さの膜のオージェ 分析結果を示すものである。母材表面にTiN(窒化チタン)層 が生成されており、また母材との境界でのAl-Ti-N-Siの混合 層の存在が分かる。

図8に摩擦係数の測定結果を示す。TiNコーティング材は 比較材の硬質Crめっきに比べ高荷重側で摩擦係数が低くなっ ている。次に、類似の試験法で摩耗試験を行なった。TiN材 はほとんど摩耗が見られず耐摩耗性が大きく改善できること が分かった。

図9に180度曲げ試験の評価結果を示す。これより、ダイナ ミックミキシングの生成膜はイオンプレーティングのものに 比べ密着性が良いことが分かる。



図5 バケット形イオン源の基本構成 バケット形イオン源の断面構 造を示す。

AI表面上のミキシングTIN膜のオージェ分析 表面 から TiN 図 7 膜が形成されており、また基材表面にミキシング層ができていることが分かる。





40kV直流半導体スイッチの外観 専用プリント基板により, 区 6 高圧にもかかわらず非常にコンパクトな外観となっている。

図8 TiNコーティング材の摩擦係数測定結果 TiNコーティング材 は、硬質Crめっきなどに比べ高荷重側で摩擦係数が低くなっている。

61



(a) ダイナミックミキシング

 $\times 500$



表2 金属表面改質技術の応用 イオンビームミキシングによる金属 表面改質技術の応用分野を示す。

No.	生成膜	応 用 製 品	付加機能
I	Al2O3 AIN	メカトロニクス部品 0A(オフィスオートメーション)用部品	高強度
2	TiN CBN	精密金型 半導体用金型	長 寿 命 生 産 性
3	同上	半導体用工具,精密治工具,各種ロール	同上
4	Zr02	タービン エンジン用部品	耐 熱 耐 腐 食
5	CBN	半導体絶縁冷却板	高熱伝導



図9 ダイナミックミキシングによる生成膜の密着性評価 イオ ンプレーティングによる膜ははく離しているが,ダイナミックミキシングの生 成膜ははく離はなく生成膜の密着性の高さを示している。

5 応用分野

イオンビームによる金属表面改質技術は, 強固な膜特性, 生成膜の制御性などから表2に示すような各分野への応用が 期待されている。具体的応用例として, ダイナミックミキシ ング処理を行なうことにより、寿命が約6倍と大幅に延びた 冷間鍛造金型を図10に示す。

6 結 言

各分野で種々の表面改質技術が開発実用化されているが, 特にイオン注入と基着を併用するダイナミックミキシングは

図10 ダイナミックミキシングの応用例 ダイナミックミキシングに より,表面改質を施した冷間鍛造金型(自動車発電機の部品製作用)を示す。

クト設計となっている。

(2) 世界初の40kV直流半導体スイッチを備え、イオン源内放 電時の高速遮断, 高速再立上げが可能で, 高信頼性化を実現 した。

(3) 水冷式回転ホルダ及び回転中の直接温度計測により、低 温処理,均一膜生成が可能である。

(4) 10kW 4 ハース電子ビーム蒸着装置とパルス運転・自動運 転が可能な電源を備え, 高速成膜, 多層膜生成が可能である。

これら今回の装置は多数の特長をもっており、今後各分野 で製品展開を図ってゆきたい。

参考文献

1) M. Satou, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 22, 171(1983)

低温プロセスで強固な表面改質層を生成できる点などから今
後幅広い応用が期待されている。
今回, 核融合プラズマ加熱装置で開発した技術を応用し,
大容量イオンビームミキシング装置を開発した。
(1) 大容量イオン源を備え高速処理が可能であり、しかも高
効率化を図っているため電源・冷却容量とも小さく、コンパ

- 岡田,外:イオン,プラズマ利用金属表面改質装置,産業機械, 2)**420**, 33~36(昭60-9)
- 3) 有松,外:大容量金属表面改質装置,第一回イオン注入表層処 理シンポジウム予稿集, 143~145(昭60-11)
- 4) 萩野谷,外:イオン注入によるTiN膜生成の基礎検討,金属表 面技術協会第73回講演大会要旨集, 128~129(昭61-3) 5)
 - T.Sato, et al. : J. Vac. Sci. Technol. A4(3), 784(1986)

62