磁気浮上型極高真空搬送システム*

土佐 正弘**・板倉 明子**・吉原 一紘**

(受付1992年12月12日, 掲載指定日1993年3月6日)

Magnetic Levitation Transport System for Extremely High Vacuum

Masahiro TOSA, Akiko ITAKURA and Kazuhiro YOSHIHARA

(National Research Institute for Metals, 1 Sengen, Tsukuba 305)

(Received December 12, 1992, Accepted March 6, 1993)

1. はじめに

極高真空を利用した真空一貫プロセスは、気体分子の吸着などによる汚染を無視できるために材料表面を単原子レベルで取り扱うことが可能になり、次世代材料創製プロセスとして期待されている。このプロセスの実現には、蒸着・加工・特性分析・性能評価などの各操作を行なう各真空装置の間を極高真空の超清浄環境下で基板を輸送できるシステムが不可欠である。

極高真空環境を損なわずに長距離の試料搬送を行なうことのできる方式として、磁気浮上型の搬送システム^{1,2)}が注目されている。この搬送の様式は、磁気の利用して試料を運ぶ移動子を浮上させ、この浮上した移動子をリニアモーターなどの駆動機構によって走行させるものである。したがって、駆動時には摩擦や摩耗をともしないう接触箇所が全く存在しないため、ダスト粒子の発生やガス放出がほとんど起こらないものと期待できる。

金属材料技術研究所では、近年、搬送システムを装備するのに必要な容器内空間を持つ大容量の大型極高真空システム(約200 l)を試作し、 10^{-10} Pa 台の極高真空空間を発生することに成功した³⁾。今回、次の段階として、極高真空中で試料を搬送できる磁気浮上型極高真空搬送システムの開発をめざし、試作した磁気浮上搬送装置を大型極高真空システム内に組み込んで浮上走行させ

ることを試みたので、その結果について報告する。

2. 搬送装置

Fig. 1 に試作した磁気浮上型搬送装置の写真を、また、この搬送装置の真空容器内での配置模式図を Fig. 2 に示す。写真は、大気中で浮上走行試験を行なっている時に撮影したものである。本搬送装置は、4基の固定子と1台の移動子とから構成され、固定子が発生する電磁力によって、3個の試料ステージを搭載する移動子が浮上し、浮上したまま移動子を走行させることができる。

移動子を磁気浮上させる方法としては常伝導吸引方式を用いた。吸引方式として必要な磁力を得る方式には、永久磁石と電磁石を併用することにより省電力、及び、小型化も考えられるが、高温でのベイクングによって磁

Fig. 1 Photograph of a carrier and stators for magnetic levitation transport.

* 平成4年10月29日第33回真空連合講演会で講演

** 金属材料技術研究所(〒305 茨城県つくば市千現1)

Fig. 2 Schematic of magnetic levitation transport installed in a vacuum chamber.

力などの特性変化の恐れがあるので電磁石のみで行なうことにした。

浮上した移動子を走行させる駆動方式としては、電気的方法と機械的方法があり、電気的としてはリニアモーター駆動、また、機械的駆動方法としては固定子追従型の2方式が候補に上げられる。リニアモーターは、回転型電動機を軸方向に切って展開したもので、固定子側に発生した磁界とこれにより移動子側に励起される電流との相互作用により駆動力を得るリニア誘導モーターや、移動子側に磁性体を用いて固定子で発生した磁界との間の力を利用するタイプなどで、本質的には回転型電動機と異なるところはない。本研究では、長距離搬送をめざしたシステムのユニット化を行なうので、フランジ部、及び、ゲートバルブ部などの連結部分を通過する機構に問題点がないという理由から、リニアモーター式を採用することにした。

極高真空中で用いるリニアモーターとして満たすべき条件としては、電磁石系部品や電気配線などは完全に真空雰囲気から隔離されること、非接触駆動ができるこ

と、移動子の構造が単純であること、及び、発熱の少ないことである。この条件を満たす方式としてリニア同期モーター駆動があり、これは固定子巻線に加える交流の周波数に同期して移動子を駆動する方式である。この方式では移動子の構造を無視でき、リニア誘導モーターに比べて移動子の発熱が小さくなり、したがって、移動子からの放出ガスが少なくできる。また、サーボ性能も良く、定速走行を行うことができ、走行速度の変更は固定子に加える交流電圧の周波数を変えることによって行なう。Fig. 3に固定子と移動子の模式図を示す。固定子はSUS316Lステンレス鋼製容器で円柱に支えられる。固定子は、移動子を浮上直線走行させるための各機能を有する容器ブロックから構成される。固定子は、電磁石による発熱(約50 W)を押える冷却盤容器をはさんで、底部には浮上用電磁石を内蔵する容器が、また、固定子側面には、横方向のずれ制御用電磁石を内蔵する容器が、さらに、上部中央にはリニアモーター内蔵容器が配置される。電磁石や配線類は、容器内に密閉し、また、各容器は溶接により冷却盤に固定した。冷却盤は、SUS316L鋼製容器で、円柱内に設置した鋼製配管を接続してこの槽に冷却水を循環させ、固定子を冷却した。極高真空空間から遮蔽される固定子内空間は、ロータリーポンプで排気することで固定子の各容器壁にかかる圧力差を小さくした。固定子は、組み立て後、表面を電解研磨処理(燐硫酸系)した。移動子には、けい素鋼板を誘導子として用い、その表面はニッケルめっきを施してガス放出を少なくした。けい素鋼板については、リニアモーター用、浮上用、横方向制御用、及び、各センサー用の計7枚を移動子の固定子側面に配置した。

磁気浮上リニアモーターによる移動子走行を安定に行なうために固定子内に浮上間隔を保持するためのギャップセンサー、走行中の速度、及び、その位置を検出する位置センサーを設置した。浮上高を監視するギャップセ

Fig. 3 Schematic of a carrier and a stator.

Fig. 4 Schematic of gap sensor (a) and position sensor (b).

ンサーとしては先に述べた磁気誘導型センサーを用いた。これは、Fig. 4(a)に示すように変圧器の構造をしたセンサーで、浮上高の測定には、移動子に取り付けたい素鋼板（鉄心）と巻線（一次、及び、二次巻線）が取り付けられた固定子内の鉄心との間隔によって二次巻線側の磁束数が変化することで生ずる誘起二次電圧変動E2を利用する。また、位置センサーは、回転角測定用センサーであるレゾルバを直線距離が測れるようにしたものを用いた。これは、磁気誘導型ギャップセンサーを応用したリアレゾルバで、Fig. 4(b)に示すように、段差のついた鉄心を搭載する移動子が走行する際に、固定子内鉄心の二次巻線側誘起電圧E2が、段差のピッチごとに生じる磁束数変動に対応する挙動を利用したものである。これらセンサー類は、すべて固定子の各容器内に配置され、真空空間とは完全に遮断される。また、電磁石用コイル、及び、センサー用コイルには、ベイヤングに耐えられるようにポリイミド系耐熱電線を用いた。

3. 全体システム

本装置を組み込む全体システムは、メインチャンバー、イントロチャンバー、真空排気系、真空計測系、ゲートバルブ系、及び、搬送系から構成され、これで一つの最小ユニットを形成する。このユニット1基に対して薄膜作製装置や表面分析機器などの真空機器を2台以上接続することができ、さらに、追加ユニットを連結していくことで、接続機器を増設していくことができる。

Fig. 5 Photograph of installation of magnetic levitation transport.

磁気浮上型搬送装置の移動子と固定子をメインチャンバー（断面：約30×30 cm、長さ：2.1 m）内に設置した。その写真をFig. 5に示す。4個の固定子がチャンバー底部のベースプレートに取り付けられ、このプレート上にメインチャンバー本体がかぶさり、移動子を挿入して搬送装置となる。移動子、及び、固定子など極高真空中に設置される機器については、すべてSUS316Lステンレス鋼製の容器内に設置し、継ぎ目を溶接で完全密閉することにより放出ガスの低減をはかった。

搬送装置の主な浮上搬送性能としては、浮上ギャップは1.5 mm以内、走行速度は1 cm/s～5 cm/s可変、停止位置精度は±0.5 mm以下、走行距離は1 m以上、最大積載量は100 g、積載可能試料形状は、直径1 インチφ以内、厚さ10 mm以下で、規定重量以内であれば計3個まで搭載できる。また、突発的な停電に対処するために無停電源を配置した。この補助電源により走行中に停電しても移動子が緩やかに停止着地するため、落下衝撃による装置の損傷の危険性を回避できる。

4. 走行特性

メインチャンバーに固定子、及び、移動子を設置した後、大気圧から、まず、タンデム型ターボ分子ポンプ（排気速度：500 l/s、及び、190 l/sで直列排気）で1時間荒引きし、そのまま真空排気しながらシステム全体を

Fig. 6 Photograph of levitating carrier on stator in an ultrahigh vacuum.

120°Cでベイクングを72時間行なった。ベイクング終了後、ベイカブルクライオポンプ（排気速度：1000 l/s）を運転し始めるとともにタンタルゲッターポンプ（排気速度：1000 l/s）を随時作動させた。排気開始約120時間後、メインチャンバー内が 2.43×10^{-8} Paに達した。

この超高真空中でFig. 6の写真を示すように磁気浮上搬送装置を作動させ、約4 cm/sの速度で1 mの間を試料を搭載しない状態で往復浮上走行させてみた。その間の真空度の変動をFig. 7に示す。一端から他端に近づくと、真空度が 2.55×10^{-8} Paまで5%ほど劣化することがわかる。この劣化の原因としては、真空計とクライオポンプの間を走行する移動子の位置関係であると考えられ、浮上走行する移動子が真空計の設置箇所よりもクライオポンプ側にある時には、コンダクタンスが増大して真空計の側の真空度が悪くなったものと考えられる。なお、ベイクングによる熱歪は、ベースプレート本体にはほとんど起こらず、浮上走行に支障をきたす各固定子上面での水平面の傾きは見られなかった。

その他の超高真空中での走行特性としては、100 gの試料を搭載した場合で、浮上ギャップが約1.5 mm以内、走行速度は1 cm/sから5 cm/sまで可変することができ、また、停止時の位置決め精度は ± 0.5 mm以下に

Fig. 7 Change in vacuum during operation of magnetic levitation transport.

押えることができ、設計通りの搬送性能が得られた。解決すべき問題点としては搬送時の真空度が超高真空中である点で、これは、250°Cまでベイクング温度を上昇していく際に発生する熱歪みを均一分布加熱により極力押えながら搬送真空度を極高真空まで改善していく予定である。

5. ま と め

極高真空対応型の磁気浮上リニアモーター式搬送システムを試作し、 10^{-8} Pa 台の超高真空中で走行することに成功した。今後、ベイクング温度を250°Cまで、徐々に上げていき、極高真空中で試料搬送を試みる予定である。

〔文 献〕

- 1) I. Moriyama, J. Yuyama, H. Yamakawa, T. Suzuki, H. Ikeda and A. Furutani: Proc. 3rd. Symp. Automated Integrated Circuits Manufacturing, Electrochemical Soc. Inc., (1988) 469.
- 2) H. Yamakawa, I. Moriyama, Y. Minamigawa, Y. Maeba, T. Takematsu, M. Nishitsuji, O. Fujiki, T. Asaishi and T. Koike: Vacuum, **41** (1990) 1843.
- 3) 土佐正弘, 板倉明子, 吉原一紘: 真空, **35** (1992) 227.