超高真空 3 軸微動テーブルの試作と評価*

佐伯 宏**・山形 豊***・樋口 俊郎***・石丸 肇****

(受付1989年12月1日, 掲載決定1990年2月3日)

Development and Studies of Three-axis Precise Positioning
Table for Ultrahigh Vacuum

Hiroshi SAEKI**, Yutaka YAMAGATA***

Toshiro HIGUCHI*** and Hajime ISHIMARU****

**(Department of Accelerator Science, The Graduate University for
Advanced Studies, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken)*** (Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1-22,
Roppongi 7-chome, Minato-ku, Tokyo)

**** (National Laboratory for High Energy Physics, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken)

(Received December 1, 1989, Accepted February 3, 1990)

1. はじめに

近年, 半導体製造装置や表面分析装置等において超高真空下で利用できる高分解位置決め機能を有するテーブルの実現への要求が高まりつつある。

ところで, ガス放出の少ない超高真空材料としてアルゴンと酸素の混合ガス中で切削加工 (EX 加工) を施したアルミニウム合金がある¹⁾。また, 高分解位置決め機構として, 通常一般化している圧電素子を用いたシャクトリムシ方式とは異なる圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構が大気中用として開発されている²⁾。

今回, 上記の精密位置決め機構と超高真空対応のアルミニウム合金を用いて X-Y- θ , 3 軸超高真空微動テーブルを試作し評価したので, その結果について報告する。

2. 超精密位置決め機構の原理

Fig. 1 は超精密位置決め機構の移動原理を示した図である。

(1) 移動体は固定されたベース上に摩擦力で保持されている。一方, 移動体の端面に慣性体 (オモリ) が圧電素子を介して接着固定されている。

(2) 先ず, ある特定パターンの電圧を圧電素子に印加し圧電素子を急速に伸ばす。その際, 慣性力で移動体は微少移動 (移動量 dx') する。

Fig. 1 Principle of movement for Impact Drive Mechanism.

* 平成元年10月26日 第30回真空に関する連合講演会にて発表 (26Ap-5)

** 総合研究大学院大学加速器科学専攻 (〒305 茨城県つくば市大穂 1-1)

*** 東京大学生産技術研究所 (〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

**** 高エネルギー物理学研究所 (〒305 茨城県つくば市大穂 1-1)

Fig. 2 X-Y- θ , three-axis precise positioning Table.

(3) 次にゆっくりと圧電素子を縮める。

(4) 最後に急速停止させる。すると移動体はさらに前回と同一方向に微少移動（移動量 dx'' ）する。

以上が移動原理である。Fig. 1 では左方向の動きについて示したものであるが、右方向および回転も同様である。また、印加する電圧パターンやパルス数を変化させることで、移動距離を nm 台から mm 台まで変化できる。

3. 実験装置

3.1 超高真空 3 軸微動テーブル

Fig. 2 は、今回開発したアルミニウム合金製超高真空 3 軸微動テーブルである。形状は正六角形で最大直径は 120 mm 高さは 40 mm であり、重量は約 1 kg である。主材料は、A2219-T87 で EX 加工を施したアルミニウム合金である。微動テーブル下面には回転しないようにネジで固定されたセラミックス製のボールを内蔵した足 3 本が固定されている。一方、固定側のベースとしてパイレックスガラス製の板を使用しており、本ベース上に前記のテーブルが摩擦力で静止している。微動テーブル本体内部の壁面には Fig. 3 のように 6 個の圧電素子とオモリがそれぞれ耐熱温度 150°C のエポキシ系接着剤で固定されている。使用した圧電素子の寸法は 10 mm × 10 mm × 20 mm で、最大印加電圧 150 V で 16 μ m 変化する特性を有する。圧電素子のケーブルは微動テーブル本体の蓋部に電子ビームで溶接された電流導入端子に接続されている。また、蓋部にはヘリウムリークチェック用のパイプも同様に溶接されている。本体と蓋部は前記ケーブル接続後に電子ビームで溶接された。テーブル本体の最終リークチェックの後にリークチェック用パイプの先端開口部は電子ビームで封止された。ターゲットプレートは、真空中での微動テーブルの動作状態を、光学窓を介して大気側に設置された移動量測定用特殊光学カメラ

Fig. 3 Control method of the piezoelectric elements.

Fig. 4 Vacuum system used in this work.

で測定するために用いられた。本プレートもアルミニウム合金で製作された。

本テーブルの動作に関しては、Fig. 3 のように 3 個の圧電素子を用いて行った。Fig. 3 は直進運動させる場合について示した図であり、進行方向のみの力が残り、異方向の分力は互いに相殺するように制御すれば直進運動が可能となる。また、回転に関しては、回転方向の力のみ残るように制御した。

3.2 アルミニウム合金製超高真空チェンバー

Fig. 4 は微動テーブルを評価するためのアルミニウム合金製超高真空チェンバーの構成図である。チェンバー本体の材料は EX 加工を施した A1050-H24 であり、フランジの材料は同様に加工を施した A2219-T87 である。チェンバーの内径は 250 mm、長さ 250 mm で容積は約 12 l である。排気系は 300 l/s の磁気浮上軸受式ターボ分子ポンプ (TMP) と 50 l/s のターボ分子ポンプ (TMP) がタンデム配置され、また液体窒素シュラウド付きチタンサブリーメーションポンプ (TSP) も備えた構成である。チェンバー内の圧力測定に B-A ゲージ (B-AG, 日電アネルバ社製 954-7902) とエクストラクタゲージ (EG, ライボルトヘラウス社製 IE511) を用いた。

4. 実験と結果

試作した微動テーブルをチェンバー内に設置し静止させた状態で Fig. 5 に示すように、大気圧から排気を行った。約 29 時間、123°C のベーキングならびに真空ゲージのガス出しを行い、チェンバーが常温にもどった後、

Fig. 5 Pumpdown curve. The final pressure of the chamber, with the table stationary was 7×10^{-12} Torr

液体窒素をシュラウドに導入してチタンサブリーメーションポンプを動作させた。その後、再度、液体窒素を導入してチタンサブリーメーションポンプを動作させたところ、到達真空度は 7×10^{-12} Torr であった。B-A ゲージは 5×10^{-11} Torr 付近が測定限界であるため、それ以下の圧力測定にはエクストラクタゲージのみを使用した。

次に、上記超高真空中で微動テーブルの動作実験を行った。Fig. 6 は超高真空中で微動テーブルが移動距離約 0.786 mm の直線移動を行った際の動作状態である。駆動印加電圧は 140 V で、1000 パルス移動させた。その結果、1 パルス当りの移動量は約 $0.7 \mu\text{m}$ で、1000 パルス移動させた際の圧力は 2×10^{-11} Torr であった。微動テ

Fig. 6 Dynamic characteristics of X axis in a Pressure of the order of 10^{-11} – 10^{-12} Torr.

ブル停止後、約 10 秒以内には到達圧力に復帰した。また、超高真空中で X-Y-θ, 3 軸動作が自由にできるとことも確認できた。

5. 考 察

X-Y, 2 軸の各軸の動作に関して、同一条件の電圧パターンを加えると移動量に差があることが判明した。これは、微動テーブル本体とベースとの接触状態、ベースの傾き等起因していると思われる。潤滑材料や材料間の滑り機構を検討する必要がある。また、今回試作した微動テーブルは重心が比較的高い位置にあるため、微少移動の制御が難しい面があった。重心をなるべく低くすればさらに良い結果が期待できる。今後、上記の点ならびに位置センサーを用いたフィードバック制御も検討したい。

謝辞

本研究に対して多大なご援助、ご協力いただいた白銅(株)、(株)ムサシノエンジニアリング、東邦化研(株)、東成エレクトロビーム(株)、助川電気工業(株)の各社に感謝いたします。

【文 献】

- 1) H. Ishimaru, J. Vac. Sci. Technol., A7, 2439 (1989)
- 2) T. Higuchi, M. Watanabe and K. Kudou, J. Jpn. Soc. Preci. Eng. 54, 2107 (1988)