D24 微小径ロータリエンコーダ用グレーティングディスクの開発

(ナノ・マシニング手法を用いた放射格子溝の試作)

Development of a grating disk for a micro rotary encoder (Trial manufacturing of radial grooves for a grating disk)

○正 黒河周平(九大)

正 梅崎洋二(九大)

正 土肥俊郎(九大)

学 車 晶啓(九大院)

松川洋二(九大)

Syuhei KUROKAWA, Kyushu University, 744, Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka
Hyomin CHA, Yoji UMEZAKI, Yoji MATSUKAWA, and Toshiro DOI,
Kyushu University

Key Words : Measurement, Rotary encoder, Grating disk, Micro Gear, Transmission error

1. 緒 言

本研究では、回転を伴うマイクロ機械要素の精度計測ならびにその評価法を開発することを目的としている。マイクロ機械要素では、その加工精度の低さから従来サイズの機械要素に比べ相対的に精度が低くなる可能性が高い。さらに、回転を伴う機械要素では、回転軸とのズレである偏心も無視できないほど大きく、回転伝達精度に悪影響をおよぼす主要因となることが想像される。

ここでは、複雑な形状を有する回転機械要素の代表である歯車を取り上げ、その回転伝達精度の評価に資する手法を検討する。高精度の回転運動を計測するには通常ロータリエンコーダを用いるが、歯車対のかみ合いでは入力軸から出力軸への伝達誤差が問題となるため、入出力軸の回転運動を同時に計測する必要がある。マイクロ歯車系の場合、中心距離が極端に小さくなり、軸のねじり剛性も低くなるため、微小径のロータリエンコーダが必要となる。しかしながら直径が1mm以下の微小径を有する市販のロータリエンコーダは存在しない。

これらをふまえ、マイクロ歯車対の回転伝達精度の測定を目標に、その第一段階として計測に必要な角度検出センサとしての微小径ロータリエンコーダの開発を目指す。本報では、マイクロ歯車系に特有の精度計測に関する問題点を概観するとともに、微小径ロータリエンコーダのグレーティングディスクのために必要な放射格子溝を、電子ビームリソグラフィ技術により試作し、加工条件の影響を調査した結果について報告する。

2. マイクロ歯車の精度計測

偏心を含むマイクロ歯車の精度評価を行う場合、従来の歯車検査手法の延長では困難を伴う。歯車単体の精度計測は通常接触式スタイラスで歯面をスキヤニング測定し、インボリュート曲線からの差を歯形誤差として算出するが、モジュールが極端に小さくなるマイクロ歯車では、歯溝に容易に挿入できるスタイラスが存在せず、また微小径の歯車を検査する歯面測定機も存在しない。レーザ顕微鏡等を利用した非接触式検査法でも、歯溝の形状によっては、光が遮られるあるいは反射光が検出されないと困難が生じ、大きな測定誤差を生むか、あるいは測定が不可能となる場合が生じる。そのため、歯車単体の評価においては直接歯面形状の誤差を計測するには至っておらず、マイクロスコープ等により歯面の

Fig. 1 Usage of a pair of rotary encoders in transmission error measurement of a conventional-sized gear pair

外観を検査するといった評価にとどまっているのが現状である。

さらに歯車対としての精度評価を的確に行うためには、歯車単体の精度検査のみでは不十分であり、歯車対としての直接評価が重要となる。そのため、かみ合い伝達誤差を測定する手法が有効と考えられる。かみ合い伝達誤差測定では、歯車単体の誤差および偏心などの組立誤差を含む総合したかみ合い精度結果が得られるため、その利用価値は高い。

通常サイズの歯車対のかみ合い伝達誤差は、Fig.1に示すように、測定対象歯車対の軸端面側に一对のロータリエンコーダを取り付け、負荷による歯車軸のねじりの影響がない状態で回転角度計測を行うことにより得られる¹⁾。本研究は、この計測手法をマイクロ歯車系の回転伝達誤差の評価に応用しようとするものであり、そのためには微小径ロータリエンコーダが不可欠となる。

3. 微小径ロータリエンコーダの設計

かみ合い伝達誤差測定に必要な微小径ロータリエンコーダでは、グレーティングディスクの格子本数が分解能を左右する重要なパラメータとなる。ここでは、直径が1mm以下の歯車のかみ合いを想定し、1mm未満の直径をもつグレーティングディスクを設計した。直径が小さければ小さいほど、その適用範囲は広いことは言うまでもない。

Fig.2に基本設計パターンを示す。グレーティングディスクの全ての構成パターンは直径1mmの範囲に収まっている。放射状格子は、その長さが315μmの台形形状となっている。

Fig. 2 Schematic diagram of the patterns on a grating disk

(a) SiO₂ etching time of 83s (b) SiO₂ etching time of 58s

Fig. 3 SEM image of the outer end of the dummy pattern whose line width is 3 μm

格子幅は格子本数に依存するが、格子本数が多くなるほど格子幅は狭くなるため、その製作は困難となる。例えば格子本数が 1000 本の場合、放射格子の内端幅はわずか 0.5μm となる。高々 1000 本の格子をもつ低分解能のグレーティングディスクでも、格子幅はとても狭いため、その製作には電子ビーム描画とドライエッチングを用いた電子ビームリソグラフィ技術を用いた。

4. 放射格子溝の試作

グレーティングディスクの基板材料はシリコンで、その上に約 200nm 厚さの熱酸化膜を付けたものである。その上に電子ビームレジストを約 320nm 厚さでスピンコーティングにより塗布し、電子ビーム描画にて露光を行った後、現像を行った。電子ビーム描画には 30kV 加速電圧の高分解能電子ビームリソグラフィシステム (S-4300SE) を用い、ドライエッチングには ICP プラズマエッチング装置 (RIE-10iP) を用いた。

格子溝ピッチの異なる長寸法のダミー放射格子溝パターンを作成し、ディスクパターンと同一基板上に形成し、格子溝作成条件の影響を調査するとともに条件出しを行った。

電子ビーム描画の解像度を調査した結果、格子幅 0.5μm に至るまでの現像後の結果は、パターン端で若干の線幅変化が見られるが、描画の設計形状をほぼ忠実に再現できていることが分かったため、現像後に酸化膜のドライエッチングを行い、続いて酸化膜を犠牲層としてシリコンのドライエッチングを行った。

犠牲層エッチング時間を 83s と長めにとった場合の格子幅 3μm の SEM 写真を Fig.3(a)に示す。溝幅が設計値よりも広がっていることが観察され、このときのシリコンエッチング後の断面観察結果にはアンダーカットが生じていた。この現象は、犠牲層エッチング時間を適切に設定することで解消でき、その時間を 58s とすることで、Fig.3(b) のようなほぼ等

Fig. 4 SEM image of the designed grating disks and sample patterns after EB exposure and development

(a) Pattern of 500 gratings (b) Pattern of 1000 gratings

Fig. 5 SEM images of the designed grating disks after DRIE process in 20 loops

間隔の放射格子溝を作成することに成功した。このようにして、試行錯誤を繰り返しながらエッチングの条件出しを行った結果を用いて、グレーティングディスクの試作を行った。

Fig.4 に試作したグレーティングディスクの現像後の SEM 画像を示す。左が 500 本格子、右が 1000 本格子のもので、その上方にはエッチング条件の影響を見るためのダミーパターンがあわせて描画されている。現像後の結果は、中心マークも含めて設計形状を忠実に再現できていることが分かる。

Fig.5 に DRIE を 20 ループ繰り返したエッチング後の SEM 画像を示す。いずれのパターンもディスクの外端部を観察している。格子幅はそれぞれ 3.0μm と 1.5μm であり、高精度でピッチが刻まれ、設計通りに均質に格子溝が製作されていることが分かる。

なお、格子本数を増やした場合、通常の光の回折を用いた信号検出はできなくなるため、新たな信号検出法の開発も必要となる。

5. 結 言

マイクロ歯車の回転伝達誤差評価を目的に、微小径ロータリエンコーダのグレーティングディスク溝の試作を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 犠牲層のエッチング時間を工夫することで、アンダーカット現象が抑えられ、適切なパターン溝を作成できる。
- (2) 放射状の格子でも、電子ビーム描画が適切に行われれば、その後のエッチングで確実に均質な格子を製作できる。
- (3) 直径 1mm 以内の範囲に格子本数 1000 本をもつグレーティングディスクを試作することに成功した。

参 考 文 献

- (1) Syuhei KUROKAWA, et., al., International Journal of Surface Science and Engineering, Vol.3, No.3 (2009), pp.160-177