装置と技術 2

ピエゾ駆動型高速ルーリングエンジンの試作*

高 島 幸 史・縄 田 滋 則

東北大学科学計測研究所 仙台市三条町 19-1

(1978年10月18日受理)

Diffraction Grating Ruling Engine with Piezoelectric Control

Kōshi TAKASHIMA and Shigenori NAWATA

Research Institute for Scientific Measurements,
Tohoku University, Sendai

(Received October 18, 1978)

1. は じ め に

従来、回折格子の製作を目的としたルーリングエンジンは格子溝間隔の割出し機構に高精度のねじと歯車が使用されている。ここに報告するルーリングエンジンはねじと歯車にかわるものとしてピエゾ素子を用い、高速度刻線を行なう目的で試作したものである。

一般にルーリングエンジンの製作は多額の費用と年月を要し、装置自体大がかりなものである。さらに1個の回折格子の製作日数も数日以上を要する。従って刻線中の温度変化等、刻線状態を一定に保持することは困難な問題である。試作したエンジンは従来型と比べ非常に簡単な装置であり、刻線も高速であるため刻線状態の保持も容易である。

ピエゾ駆動型ルーリングエンジンは Bartlett and Wildy,¹⁾ Gee²⁾ 等により報告されているがいづれもブランクをピエゾ素子で送るシェーパー型である。このため Bartlett のエンジンはブランクキャリジとガイドとの摩擦のため大きな回折格子の製作は出来ない。また Gee の装置ではブランクキャリジはその案内への重量を減少させるためオイルバスから舟で吊る方式をとっている。我々のエンジンはこれらの難点をさけるためプレーナー

型とし、軽量のダイヤモンドキャリジで格子溝間隔の割出しを行なうものである。このエンジンの概略の一部はすでに報告³⁾したが少し詳細に報告したいと思う。

2. ルーリングエンジンの構成

Fig. 1 に試作したルーリングエンジンの構成図を示す。本体は $600 \times 900 \text{ mm}^2$ の測定用精密定盤上に組んである。ダイヤモンドキャリジは右方のマイクロステップモーターによりブッシュロッドを介して格子定数分だけ間歇的に左方へ送られる。一方ブランクキャリジに固定したブランクはダイヤモンドキャリジの移動方向と直交した1本のスライドバー上を一定位置で往復運動し1往復で1本刻線される。すなわちプレーナー型刻線機である。

ダイヤモンドツールは2枚の平行バネにより支持され、かつ2個の直径10 mmのオイルポットをもつ円板形のホルダーに取付けられキャリジに固定されている。このキャリジは2条の90°山形溝をもち、研削仕上げした直径30 mm長さ300 mmの鋼鉄製丸棒2本を間隔90 mmに平行に配置した直進案内上を移動する。キャリジは $110 \times 130 \times 14 \text{ mm}^3$ のAl板から工作し、肉厚3 mmに加工、軽量化されている。また案内溝には0.3 mm厚のテフロンをはり案内との摩擦の軽減をはかっている。このように軽量で一定荷重のダイヤモンドキャリジをマ

* 本報文の一部は昭和53年度日本分光学会春季講演会(5月23・24日、東京)で発表した。

Fig. 1. Schematic diagram of the ruling engine.

イクロステップモーターが駆動するから送りが安定であり、案内の丸棒の長さともーターの案内長を大きくとれば刻線面積を大きくとることが出来る。刻線速度は 38 本/min で高速であり、最大面積 $90 \times 150 \text{ mm}^2$ まで刻線出来る。例えば 600 本/mm、刻線巾 100mm の回折格子の刻線時間は約 26 時間である。

マイクロステップモーター⁴⁾は 2 個のクランプの役目をする電磁石の間にピエゾ素子をはさんだもので尺取虫的な動作をする。用いたピエゾ素子は直径 10mm、長さ 32 mm で 4 個の素子をカスケードに接続されたもので使用状態における圧電率は $0.2 \mu\text{m}/100\text{V}$ である。電磁石は純鉄のコアに 0.3mm のエナメル線を約 1000 回巻いたもので 90° 山形案内との接触面に 0.3 mm 厚のテフロンをはり無潤滑で摺動する。2 個の電磁石間、ダイヤモンドキャリアジ間をそれぞれスプリングで結合してある。

ダイヤモンドキャリアジの送り量はキャリアジに固定された直角プリズムを移動鏡とするマイケルソン型の干渉計でモニターされている。干渉計の光源は内部鏡型の 1 mW の He-Ne レーザーで偏光モードを利用して簡単に周波数安定化⁵⁾して使用した。干渉縞はリバーズフリンジカウント方式とするため 2 素子のホットダイオードを用

いキャリアジの送りをレーザー波長の $1/4$ 移動を周期とする信号として検出し、電子回路で 2 分割しレーザー波長の $1/8$ の移動量 (約 $0.08 \mu\text{m}$) を 1 パルスとして計数する。そして格子定数に相当するパルス数と一致した送り量でキャリアジを止め刻線される。この動作の時間信号はブランクキャリアジの運動に同期してフライホイール軸に取付けたセクターとホットカップラーから作っている。同時にこの信号でダイヤモンドツールの上げ下げが同期されている。

3. ダイヤモンドキャリアジの位置制御と動作

Fig. 2, 3 にそれぞれ試作したダイヤモンドキャリアジの位置制御動作のタイミング図と回路のブロック図を示す。Fig. 2 の最上部の信号波形はホットカップラーの出力でフライホイールの 1 回転に相当する 1 周期分の波形を示す。この信号波形をもとに電子回路により以下に述べるような動作を順次行なわせる。ダイヤモンドキャリアジの送りはツールがリフトされているブランクキャリアジの戻り行程中に行なう。まづ戻り行程開始時 T_1 でトリガーパルスを作り、その立下りで内側クランプの電磁石への電流を切り off 状態にする。同時にこの信号でピエゾ

Fig. 2. Sequence of control of the micro-step linear motor.

Fig. 3. Block diagram of electronic circuitry of the ruling engine.

素子へ鋸歯状電圧 (Ramp 電圧) を印加し、素子が伸びキャリジが送られる。このトリガーパルス中は 70m sec にしてツールがリフトされたときの振動によるノイズが消滅後キャリジが送られるようにした。キャリジの送り量にともない干渉計の受光部で干渉縞の移動を検知、 $1/8$ 波長の移動量を 1 パルスとして計数しコンパレーターへ送る。コンパレーターには格子定数に相当する数が設定入力されているから、これと同数になると 1 個のパルスが出力される。(T₂)。このパルスは内側クランプを on にしキャリジの送りを止め固定する。同時にピエゾ素子への印加電圧の昇圧を止め一定電圧に保つ。またこのパルスで Delay 1, 2, 3 を順次トリガーする。Delay 1 は T₂

から T₃ まで 0.1 m sec 遅延させ T₃ で外側クランプを off する。Delay 2 は T₃ から T₄ まで 25 m sec 遅延させ T₄ でピエゾ素子への印加電圧を切る。Delay 3 は T₄ から T₅ まで 160 m sec 遅延させ外側クランプを on にする。この状態で送りは完了し、両クランプは on の状態で次の刻線開始を待つ。遅延回路の遅延時間はマイクロステップモーターの個々の動作を確実にこなわせるためにもうけた。T₁ から T₅ までの一連の動作は T₁ のトリガーパルスで開始され約 0.5 sec で終了する。

Fig. 3 に示す如くピエゾ素子への印加電圧は Ramp 電圧を DC-DC コンバーターで昇圧して作った。またツールをリフトするためホットカプラーの信号はダイヤモンドキャリジへ取付けたソレノイドを駆動する。

Fig. 4 にルーリングエンジンを運転しているときのマイクロステップモーター及びダイヤモンドキャリジの動作波形を示す。(1),(2) はそれぞれ内側、外側クランプの電流波形で high level のときクランプ off されている。(3) はピエゾ素子へ印加されている高電圧波形でこのとき (1) が off, (2) が on 状態である。(4) は干渉縞波形でピエゾ素子へ印加した電圧がある値に達するまでキャリジは停止しており、それ以上の電圧で動き出す。またキャリジの停止時においても Fig. 2 の T₂ に相当する位置、すなわち内側クランプが on されてもキャリジは停止せず期待した量を越えている。これはキャリジ、内側クランプ等の案内との摩擦による変形、連結棒の歪等によるものと考えられるが、この装置ではその量がコンパレーター

Fig. 4. Performance of the micro-step linear motor.

- (1) waveform of the current supplied to inner clamp,
- (2) same as (1), except outer clamp,
- (3) waveform of ramp voltage supplied to piezo crystal,
- (4) waveform of interference fringes signal.

に入力した干渉縞パルス数より常に2パルス ($0.16 \mu\text{m}$) 多い数を表示した。一般にキャリジを断続的に送る装置では接触面の抵抗による歪み等のため理想的動きを期待することが困難であるがこの装置の如く常に一定量だけ多く送られることは場所的な欠陥がないことを示している。従って上記パルス分だけ差引いてコンパレータに入力すれば期待した格子定数の送りが得られる。多く送られる量を少なくするためにはピエゾ素子に印加する Ramp 電圧の傾きを少なくし送り時間を長くすることが考えられるが高速刻線を目的としていることと送りむらがないことからこのままとした。さらに試作回路はリバースカウント方式としキャリジの送り開始及び停止時における逆の動きを検知出来るようにしたがリバースパルスは全く現われず正常に送られていることがわかった。

4. 刻 線 結 果

Fig. 5, 6 にこのルーリングエンジンで刻線した平面回折格子の性能を測定した結果を示す。Fig. 5 は 602 本/mm, 刻線面積 $70(\text{H}) \times 74(\text{W}) \text{ mm}^2$ のもので 5 m ツェルナー型分光器を用い 3 次で撮影した。写真から $+94 \text{ m}\text{\AA}$ と $+140 \text{ m}\text{\AA}$ の $46 \text{ m}\text{\AA}$ 離れた 2 線が明瞭に分離しているから 118,700 以上の分解能を持つ。この値は理論分解能 133,600 の 89% に当る。Fig. 6 は Fig. 5 に示した回折格子のツイマングリーン干渉計による 0 次と 1 次の波面干渉縞写真を示す。光源は He-Ne レーザーを使用した。0 次の波面からブランクの平面度による縞の曲がりが見られるが 1 次の波面では特に指摘する欠陥は見られず満足すべき結果が得られた。

Fig. 5. Hyperfine structure of the mercury green line taken in the 3rd order with a plane grating of $70 \times 74 \text{ mm}^2$ ruled area and 602 grooves/mm, mounted in a 5 m Czerny-Turner spectrograph.

Fig. 6 Twyman-Green interferograms of the zeroth and 1st order diffracted wavefronts from the grating of Fig. 5, taken with a He-Ne laser

5. お わ り に

回折格子の製作はこれまで非常に困難な仕事とされて来たが、ここに報告したように簡単な装置で容易に製作出来るようになった。

本装置はレーザー光の波長を基準として刻線制御を行なっているため波長の安定度が直接刻線精度に影響する。このため今後完全に波長安定化をはかり、さらに干渉計をマルチパス化して刻線性能の向上をはかる考えである。

回折格子の性能は分解能の外に回折効率、迷光等をもって評価されるがこれらは刻線断面形状に大きく依存する。すなわち、ルーリングエンジンの刻線位置の割出精度とは別にカッター形状とそれへの荷重等、刻線技術に

も支配される。ここではルーリングエンジンの機械的精度を中心に述べたため製作した格子の線合的性能については除外した。これについては別の機会に報告する。

文 献

- 1) I. R. Bartlett and P. C. Wildy: Appl. Optics **14**, 1 (1975).
- 2) A. E. Gee: Japan. J. appl. Phys. **14**, Suppl. 14-1, 169 (1975).
- 3) K. Takashima and S. Nawata: Japan. J. appl. Phys. **17**, 1445 (1978).
- 4) G. C. Joyce and G. C. Wilson: J. Phys. E. Sci. Instrum. Series 2, **2**, 661 (1969).
- 5) R. Balhorn, H. Kunzmann and F. Lebowsky: Appl. Optics **11**, 742 (1972).