

室蘭工業大学 ○川筋幸洋、三品博達、相津佳永、湯浅友典

要 旨

本研究では半導体レーザー(LD)と光点位置検出素子である4分割フォトダイオード(QPD)を用いて作成した高感度微小傾角検出器を提案しその性能について報告する。この傾角検出器は、従来の傾斜計と比較し小型、軽量であり直行了した2方向の傾角を同時に測定できる特徴を持つ。現在 1.6×10^{-6} [rad]程度の分解能で傾角検出が可能である。

1. はじめに

近年、特に半導体産業等ではナノメートルオーダーでの加工、製品検査が行われている。このような超精密な加工、測定を精度良く行うには、精度の高い工作機械や高感度の測定器が必要なのは当然のことであるが、付け加えてそれらの設置状況が恒常的に保障されねばならない。このような設置状況の一つに水準面からの偏移すなわち傾斜角が考えられる。本研究では半導体レーザー(LD)と光点位置検出素子である4分割フォトダイオード(QPD)を用いて開発した傾角検出器を提案しその性能について報告する。

2. 傾角検出原理

Fig. 1に本研究における傾角検出器の検出原理を示す。検出原理はレーザー光の直進性と光の反射法則を利用した極めて単純なものである。光源から発せられたレーザー光はハーフプリズムを通過し反射面で反射し受光面にスポット像を作る。今反射面が θ 傾斜すると受光面上でスポット像は移動する。この移動量 Δ をQPDにより検出することで傾角の検出が可能である。スポット像の移動量と傾角の関係は次式で与えられる。

$$\Delta = f \cdot \tan(2\theta) \quad (1)$$

ここで f は集光レンズの焦点距離[mm]である。

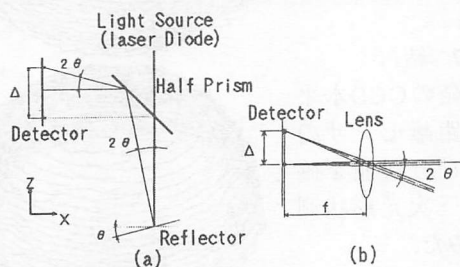


Fig. 1 Principle of Measurement.

θ が微小な場合、 $\tan(2\theta) \approx 2\theta$ であるので、受光面上での光点の移動量 Δ は傾斜角 θ に比例する。本研究で取り扱う傾斜角は微小なので($\theta < 10^{-4}$)以後式(1)を近似式(2)のように表す。

$$\theta = \Delta / 2f \quad (2)$$

つまり受光面のスポット像の移動量を測定することで傾角の検出が可能となる。

受光面上でのスポット像の移動量はQPDを用いて検出する。この検出素子はフォトダイオードを中心に4分割した素子であり、各受光面に入射する光量に応じた光電流を生じる構造になっており、対向する受光面の光出力の差を求めることでスポット像の位置を検出することができる。

反射面は常に水平を維持するものでなければならない。そこで本研究では小さなガラス容器に水銀を入れたものを反射面としている。

3. 傾角検出器の構成

Fig. 2は先に述べた検出原理に基づき構成した傾角検出器の外観図である。光源であるLD、2個のハーフプリズム、反射面、受光面であるQPDで構成されている。検出原理で説明した光学系とは、レーザー光の反射の回数、および受光面の位置が異なるが、基本的な検出原理に違いはない。検出器の大きさは他の傾斜計に比べて非常にコンパクトになっている。

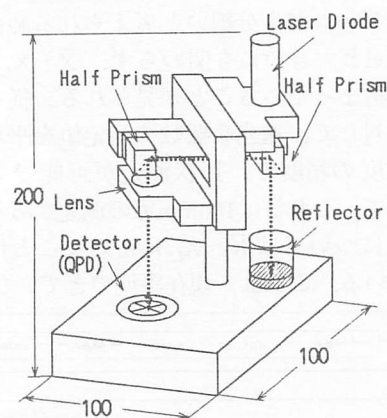
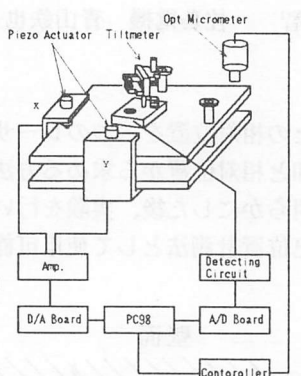


Fig. 2 Schematic of Tiltmeter.

4. 実験装置

傾角検出器の性能を評価するためにFig. 3に示

すような実験装置を構築した。ピエゾ素子に電圧を印加すると傾斜台が傾斜する。傾角は、傾斜台端部の変位をオプトマイクロメーターで取得し計算により求める。実験装置はパソコン (PC98) に接続されており、データの取得は全てこのパソコンでコントロールされ Fig. 3 Experimental Setup. ている。



5. 反射面の振動による影響

Fig. 4は、前述の実験装置を用い傾角検出器にステップ状の傾角を与えたときの出力を表している。出力は非常に振動的でありこのままでは実用に耐えない。これは反射面として用いた水銀表面が周囲の振動等によって加振され、その振動が完全には減衰せず持続するためである。このような振動成分を除去するため、次のような2つの方法を考案した。

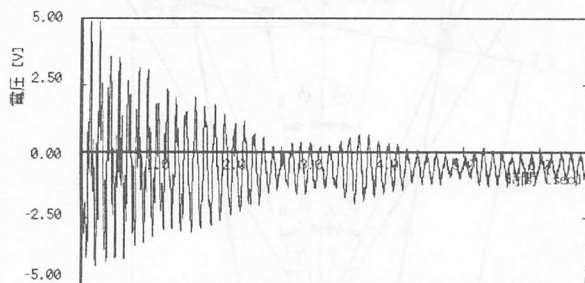


Fig. 4 Step Response 1.

(1) 反射面の改良

反射面の水銀の上に粘度の高い流体を満たし反射面の振動を減衰させる。

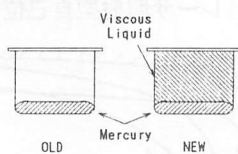


Fig. 5 Reflector.

(2) フィルター回路による振動成分除去

検出回路に低域通過フィルター (LPF) を付加し電氣的に振動成分を除去する。

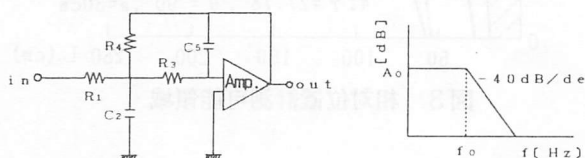


Fig. 6 LPF

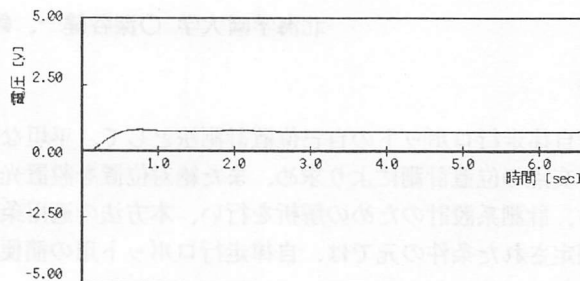


Fig. 7 Step Response 2.

Fig. 7は振動成分を除去するために (1) の方法と (2) の方法の両者を併用した時の傾角検出器の出力を表している。従来見られた出力の振動成分はほとんど除去されている。反射面の改良とLPFの付加が振動成分の除去に非常に有効であることが確認できた。粘性流体の粘度とLPFの遮断周波数を変化させた実験より、粘度は15000 [mPa·s] 遮断周波数は1 [Hz] 程度が適当であることがわかった。

6. 角度特性測定結果

Fig. 8は傾角検出器の角度特性の測定結果である。横軸は校正装置で測定した傾角であり、縦軸は検出器出力を表している。傾角と検出器出力の関係は直線的であり、 1.6×10^{-6} [rad] 程度の分解能が得られた。

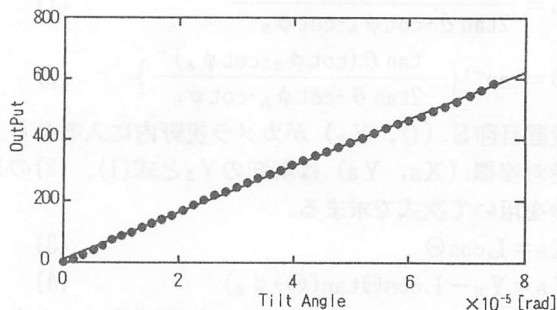


Fig. 8 Experimental Result.

7. 結論

本研究では半導体レーザーを用いた小型で高感度の傾角検出器を提案した。従来用いていた反射面は非常に振動的でS/N比を悪化させていた。これを改善するために反射面を改良し、検出回路にLPFを取り付けた。これによりS/N比を大幅に改善することができた。傾角検出の分解能は 1.6×10^{-6} [rad] 程度で非常に高感度である。今後更なる感度の向上、安定性の確保が必要である。しかし現在用いている校正装置ではこれ以上小さい傾角を安定的に発生させ校正を行うのは困難であるため、校正装置の改良が早急に必要なである。