

121 超精密回転機構を用いた半導体連続露光技術に関する研究

—円板の同期制御系の構築—

Study on the Technology of Continuous Photolithography for
Semiconductor using the Super Precision Rotary Mechanism-Establishment of the Control System for Table
Synchronization-

○学 田中 広朗 (東電大理工・院) 学 引地 紀敬 (東電大理工)

正 里見 忠篤 (東電大理工)

Tadaatsu SATOMI, Hiroo TANAKA, Noritaka HIKICHI

Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hiki-gun, Saitama

Key Words :Continuous Photolithography ,Rotary Mechanism, Control System

1. 研究目的

現在広く知られている露光装置は、X-Y ステージを用いて材料であるシリコンウェハを高精度に位置決めを繰り返して露光工程を行う方式となっている。この場合、露光の度にステージが移動・静止を行うため作業時間を要する。元来、半導体製造はICパターン形成に回路の素材となる成膜の形成、露光のための感光剤(フォトリソ)の添付、その後に露光、現像、エッチングといった工程を数回繰り返すため時間を多く費やす体質を持つ。(Fig.1)

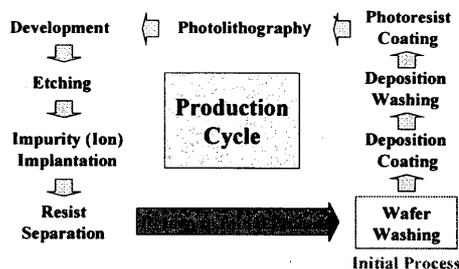


Fig.1 Production Cycle of Semiconductor

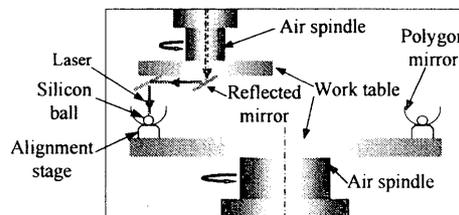
本研究では、この様な半導体製造の時間短縮を図ることを目標とし、超精密な回転式円板をステージとした回転運動による連続的露光技術の確立を目的とする。

2. 実験装置特徴

研究中の装置は球状単結晶シリコンを露光の対象として想定している。現在の半導体が材料のシリコンをインゴットから薄い円盤状に切り出してから用い、IC形成後にはその円盤から半導体をICチップとして切り出して製造されている。この半導体完成までの過程で行うシリコン材の切り出しで、元のシリコンインゴットの約80%が切り屑となる。また、クリーンルームなどの特殊設備への多額投資と材料調達から最終検査を経て市場に出荷されるまで約100日と長期間を要することから経済面で大きな問題が発生する。このような問題に対して球状半導体を実用化することで大幅な改善が可能であると提唱されている。

装置の構成として、ステージとなる円板はエアスピンドル(製作:東芝機械(株))を主軸(最大1200r.p.m.)としており超高精度な回転を可能としている。この回転式ステージは上部・下部に一本ずつ一対で設けられており、上側テーブ

ル(φ300)は露光用レーザー光を垂直に下方へ反射させて下側テーブル(φ400)上に乗せられたシリコン材を露光する。(Fig.2)

Fig.2 Photolithography machine
under investigation

従来の半導体製造において、ICパターン線幅のおよそ1/10に相当する位置決め精度を必要とする傾向にあることから、研究中の露光装置では試験的に線幅1.0μmのIC形成を行うものとしてその場合に必要となる位置決め(回転振動、回転むら)精度は最大0.1μmであると設定する。この装置に必要なとされる精度・機能には、超高回転精度(回転軸振れ、回転むら、共に0.1μm以下)、上下回転テーブルの同期(周回速度、露光位置の一致)、露光位置の最終補正(アライメントステージ等)、露光用レーザー装置が挙げられる。

3. 研究経過

これまでの研究経過として実験用装置の基本構成を構築した。(Fig.3)

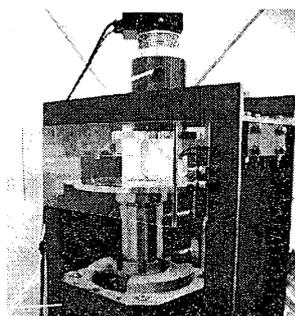
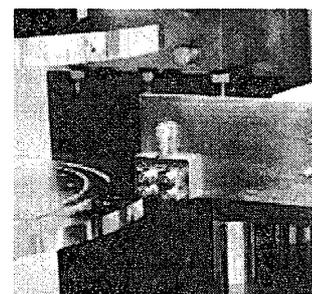


Fig.3 Real image of device

Fig.4 Cutting for Rotary
Vibrate Correction

また、装置の必要精度である回転軸振れについてはエアスライダを送り機構としてダイヤモンドバイトによる回転テーブルの微細切削 (Fig.4) により補正を試みて上下テーブルともに目標精度 $0.1\mu\text{m}$ 以下を達成している⁽³⁾。このときの振れ精度の測定には静電容量型センサを用いており、測定データ評価の方法に1回転毎の同位相における振幅の最大・最小値の差を求める NRRO (Non Repetitive Readout Overall) 法⁽¹⁾を行った。(Fig.5) 当研究では、回転テーブル上面で任意の1点における球状シリコンへの露光作業を想定し、NRRO 法での評価を行った。その一方では回転むらについては未だ必要精度を得られていない⁽²⁾。

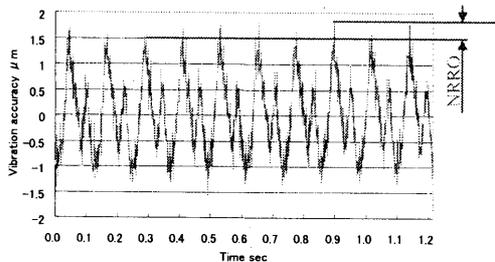


Fig.5 Assessment of Rotary Vibration

4. 同期制御

これまでの装置を使った実験において、テーブルの回転数の設定にはスピンドルを駆動しているモーター (AC サーボモータ, $1.0\text{ k W}/1200\text{ r.p.m.}$) を制御アンプの数値プログラムによるパルス制御で行っていた。この制御アンプはエアスピンドル制御盤内部に組み込まれているもので、上・下側スピンドル毎に制御盤が各一つ付属している。現在の環境ではスピンドルは個別に操作を行っているため、上下テーブルの同期制御を行うためには二つの制御盤を一つに統合する必要がある。制御アンプを用いての同期制御の場合、新たに上位コントローラを増設して上側と下側の制御アンプに同時に指令を送る方法が考えられるが、コストと製作時間がある程度必要となる。また、この装置で行う動作は基本として上下テーブルが常に同一方向にある速度比 (回転数比) で回転するものであるため非常にシンプルな指令系で十分であると考えられる。そこで、制御盤の操作に変圧抵抗をボリュームとする手動操作すなわち電圧・電流操作が設定されている点に着目し、この部分の回転数との電圧・電流の変化を調べて同期制御系の構築を検討した。最初に電圧と電流の変化を制御盤付属の回転数カウンタで回転数を見ながら実際にボリューム操作を行い測定した。

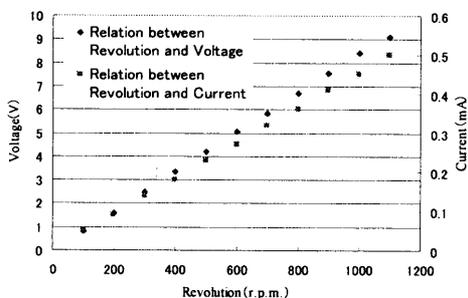


Fig.6 Relation between Revolution and Electric Property

測定結果は Fig.6 に見られる比例関係にあることが確認され、上・下側とともに殆んど差異の無い結果となった。元々、上下テーブルの制御が同じ方式であるための結果と考えられる。この結果を基に、次に直流安定化電源を外部電源として

可変抵抗の配線に接続して電圧を操作し、回転数が事前の測定結果と同様に変化することを上・下テーブルで確認した。結果よりおよそ 8 mV/r.p.m. の電圧制御であることが確認された。そこで、一回転当たりでのこの値を微小分割した制御により装置に要求される精度の一つである回転むら達成への効用、及び外部制御の観点からも A/D, D/A 変換器を用いた外部制御装置による上下テーブルの同期制御が可能であると考えられる。この制御装置には、昨今開発の自由度が高いことで活用分野が拡大しているパソコンのプログラム操作によるマイコン制御方式を検討している。必要とする方法として例えば下側テーブルの回転数と、上側テーブルとの露光位置合わせを行うための位相の変動をモーターに取り付けられているエンコーダあるいは外部よりセンサで読み取り、その情報を制御装置にフィードバックさせて上側テーブルの回転を同期条件に合う状態に修正するものである。(Fig.7)

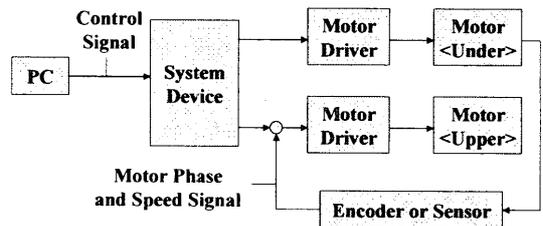


Fig.7 Block Diagram of Control System

この制御を高分解能での信号入出力で行うため、制御装置側に伴いモーターの位相・回転速度を読み取るエンコーダが高分解能であることが重要である。これまでに判明している必要回転むらの精度から、テーブルの一回転当たりの必要となる最小分割角度は下側で 0.003° 、上側で 0.004° となる。この角度を読み取るために必要なエンコーダの分解能は下側 120000 p/r 、上側 90000 p/r である。現在組み込まれているエンコーダでは 2000 p/r の分解能であるため、上下テーブル同期を実現させるに当たりフィードバックの高精度化を図る必要があるものと考えられる。

同期制御にあたり、必要精度として上下テーブルが同期するには露光位置での周回速度が一致しなければならないことから、各テーブルの露光位置までの半径 r 、角速度 ω 、回転数 n 、 $r_{\text{upper}} = 131.25\text{ mm}$ 、 $r_{\text{under}} = 175\text{ mm}$ として、 $r_{\text{upper}} \cdot \omega_{\text{upper}} = r_{\text{under}} \cdot \omega_{\text{under}}$ より、

$$\begin{aligned} & \cdot r_{\text{upper}} \cdot 2\pi n_{\text{upper}}/60 = r_{\text{under}} \cdot 2\pi n_{\text{under}}/60 \\ & \cdot n_{\text{upper}}/n_{\text{under}} = r_{\text{under}}/r_{\text{upper}} = 175/131.25 = 1.33\dots \\ & \cdot n_{\text{upper}} = 1.33 n_{\text{under}} \end{aligned}$$

以上の計算より回転比で上側テーブルは下側の約 1.33 倍の回転数となる制御が必要である。

参考文献

- 1) 長谷川, 里見: 光学用回転テーブルに関する研究, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 2001 鳩山講演論文集, 2001, 143
- 2) 長谷川, 里見: 複合型超精密回転テーブルの同期性に関する研究, 日本機械学会第 8 期総会講演論文集, 2002, 343
- 3) 笠井, 田中, 里見: 超精密回転式作業台に関する研究, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 2002 山梨講演論文集, 2002, 654