LSI 製造 クリーンルーム用搬送装置*

坂 野 進**, 浅 川 誠**
黒 田 久 雄***, 武 田 有 司**

Wafer Transfer System for LSI Production

by Susumu SAKANO, Makoto ASAKAWA
Hisao KURODA, and Yuji TAKEDA

64 Kbit RAM mass-production indicates the beginning of VLSI age. And moreover, 256 Kbit RAM is being shipped. It is needed to achieve a high-cleanliness production environment and to accomplish a total process automation for the increase of VLSI products. This paper deals with a low dust carriage system for LSI wafer transfer. The great part of dust is caused by power collector mechanism and drive mechanism on an usual carriage. Then, the power collector mechanism and the drive mechanism were investigated. The investigation revealed that a low dust carriage system was able to be realized by the adoption of a rolling contact type collector and a flexible steering mechanism.

Key Words: LSI Wafer Transfer, Low Dust Carriage, Rolling Contact Collector, Steering Mechanism

1. 緒 言

微細加工技術の急速な進展により, LSI の高集積化が進み, 超 LSI 時代を迎えつつある。LSI は今や産業界における枢要部品となり, さらに, その適用域を拡げつつある。LSI は集積度が高くなるに従い, 製造工程が複雑多岐となり, 64 Kbit RAM で約 100 工程, 256 Kbit RAM で約 150 工程にもなっている。本格的な超 LSI 時代を迎え, 高集積化の傾向は今後とも続くものと予想され, 製造ラインの稼働率と歩どまりを維持するために, 製造ラインの自動化が必須となってきた。自動化のために, 下記のような研究課題がある。

- (1) 製造プロセス装置の精密自動制御化
- (2) 作業者の排除により高クリーン化を実現するための, 自動搬送装置の開発
- (3) 工程の電算機管理によるプロセスデータの自動収集と自動管理化

本研究は, 上記の研究課題の中の搬送装置に関するもので, 本報告では, 高クリーンなクリーンルームに

適用可能な LSI ウェハ搬送装置の検討について述べる。

2. クリーンルーム内における搬送

LSI の製造環境すなわちクリーンルーム内に浮遊する塵埃粒子の大きさと LSI 素子の欠陥発生との関係についてはいまだ明確に解明されていないが, 通常, LSI の最小パターン寸法の 1/10 以下の塵埃の除去が必要と考えられている⁽¹⁾。塵埃の発生源は LSI の製造装置, 検査装置など種々あるが, 最大の発生源は作業者である。無人時にクラス*10 以下となるクリーンルームでも, 作業者の作業中はクラス 1000 以上にもなっている⁽¹⁾。したがって, クリーンルームの高クリーン化を維持するためには LSI ウェハ搬送の自動化が不可欠である。ここで言う搬送の自動化とは, 単に LSI ウェハを運ぶだけでなく, 個々のプロセス装置にウェハを受け渡すまでの自動化である。

3. 搬送装置の問題点

これまで, 搬送装置は製造工場やオフィスにおいて, 部品・製品・文書などの運搬を目的として開発され

* 昭和 60 年 11 月 2 日 東北支部仙台台地方講演会において講演, 原稿受付 昭和 60 年 3 月 1 日。

** 正員, 日本電信電話(株)武蔵野電気通信研究所 (〒180 武蔵野市緑町 3-9-11)。

*** 日本電信電話(株)武蔵野電気通信研究所。

*1 1 立方フィート中の塵埃粒子の数, 1 個/ft³をクラス 1 と数える。通常, 0.5 μ m 以上の粒子数

てきた。LSI 製造クリーンルームにおいては、低発塵あるいは無発塵な搬送装置が必要である。従来の搬送装置をそのままクリーンルーム内に導入しているものが多く、塵埃によるプロセス装置への影響を少なくするために、ダクトを設け、この中を搬送するような搬送路とプロセス装置とのスペースの分離を図っている。このために、搬送装置が運んだ LSI ウェハをさらに人手によりプロセス装置まで運ばねばならない。

長距離を搬送装置で運ぶという省力化にはなっていないが、クリーン度を高く保たねばならないプロセス装置周辺では自動化が図られていない。図 1 に従来の搬送装置を走行させ測定したクリーン度の結果を示す。

搬送装置からの発塵によりクラス 1000 以上の値となっている。このように従来の搬送装置のクリーンルーム内への導入は、高クリーン度を維持し、製造歩道を向上させることに対しては何らの効果もない。

4. 設計条件

4・1 搬送単位 搬送単位に関しては、枚葉搬送と複数枚を一括してカセットに収納して搬送するカセット搬送がある。LSI の製造において重要な位置を占める洗浄や熱処理のプロセス装置ではバッチ処理での自動化が進められている。また、その他のプロセス装置においてもこのような傾向にある。したがって、搬送単位としてカセット単位の搬送とし、25 枚の LSI ウェハをカセットに収納し搬送を行う C-C (Cassette to Cassette) 方式とする。

4・2 システム構成 プロセス装置の更改寿命は 3~4 年といわれている⁽²⁾。

搬送システムとして、プロセス工程の変更に柔軟に対応でき、任意のプロセス装置間での搬送ルートの設定・変更に対応し得るシステム構成をとらねばならない。また、クリーンルームの建設には多大な費

用を要し、クリーンルーム内のスペースをできる限り有効に使用せねばならない。このような要求条件を考慮して、天井軌道を走行する搬送システムとする。天井軌道を走行する場合、特に発塵が問題となるが、低発塵の搬送装置を実現することにより解決できる。天井軌道を走行する搬送システム構成を図 2 に示す。

5. 搬送装置の設計

クリーンルーム用搬送装置を実現するために解決しなければならない問題は前述の低発塵化のほかに、搬送装置がプロセス装置上で停止する際の停止精度の高精度化がある。発塵に関しては、搬送軌道の送電線と集電子の接触および走行車輪の搬送軌道上での横滑りによる摩耗が主な発塵源である。停止精度に関しては、従来、この種の装置が自律走行しないことが根本的原因である。軌道区間ごとに送電電圧を切り換え、段階的に搬送装置の速度を加減する方法を採用しているために精密な制御が行えない。停止精度は ± 10 mm 以上となっている。従来、搬送装置が停止するステーションからプロセス装置まで人手で運んでいるので、上記のような精度でも十分であった。しかし、製造ライン全体を自動化する場合、搬送装置からプロセス装置への LSI ウェハの受け渡しを機構的に行うためには、 ± 1 mm 以内の停止精度が必要である。

5・1 集電子機構 軌道上の送電線から搬送装置の電源、制御回路などへ給電するための集電子の構成として、摺動形と転動形が考えられる。従来、摺動形のものが多く用いられている。鉄道のように大電力、長距離走行のものでは、集電効率、寿命の点から摺動形とならざるを得ないであろうが、本装置のように、24 V、高電流 1 A くらいのもものでは集電効率は問題とならない。そこで、摩耗の少ないと考えられる転動形集電子機構を示す。玉軸受で支持された集電リングの外周と送電線とが転がり接触をする。集電リングの内

図 1 従来の搬送装置の発塵

図 2 搬送システム

周部ではブラシで集電している。このように軸受を集電子として用いることにより、長寿命化を図るとともに、軸受内部のブラシ部からの発塵に対しては軸受の側面をシールすることにより塵埃を密封している。

5.2 走行機構 搬送装置の走行機構では、従来、車軸に車輪が固定されている。このために、曲線軌道を走行する際、図4(a)に示すように、車輪が軌道の側面と接触する。また、車輪が横滑りする。図4(b)に示すように、乗用車では、前車輪に走舵機構を用いているが、内輪差分の横滑りを生ずる。このような横滑りが発塵を促進している。上記のような問題を解決できると考えた走行機構を図4(c)に示す。

駆動車台、従動車台と車体とを分離し、車台と車体とを玉軸受で接続している。駆動車台には、駆動モータと車輪の間にクラッチを設けている。従動車台には、従動輪のみを搭載している。両車台間は伸縮性自在継手で連結し、両車台および車体は水平方向に回転できる構造となっている。直線軌道走行は2個のクラッチを働かせ走行する。曲線軌道走行は曲線に沿った内側のクラッチを切り、外輪のみの駆動で走行する。前後の車軸と車体中心の3軸において、走行軌跡と軌道とを一致させることにより、車輪に起因する横滑りを防止している。

5.3 走行制御 搬送装置の停止精度を向上させるためには、搬送装置の自律走行と、速度フィードバックなどのフィードバック制御を行うことが不可欠である。このために、制御回路を搬送装置に搭載するとともに搬送装置への動作指令は1200 bit/sのデジタル伝送で行うこととした。クリーンルームの一郭に固定された移送制御装置から送電線を介して搬送装置に動作指令を与えることにより、搬送装置は自律走行

する。複数台の搬送装置をおのおの自律走行させることにより多重搬送が可能である。個々のプロセス装置上のステーションの設置には、フォトダイオードを設け、この光を搬送装置が受光し、一定距離走行後停止する。

図5に制御指令ブロック図を示す。駆動モータの速度指令電圧はカウンタAの出力をD/A変換した値により与えられる。搬送装置が発進指令を受けると、モータに起動トルクを与えるための初期値 l をカウンタAにラッチし、また、カウンタBには加速ステップ数 m をラッチして加速用ゲートC、Dを開く。ロータリエンコーダからのパルスをカウントパルスとしてカウンタBは減少し、カウンタAは増加して加速される。カウンタBが0になるとカウンタAは一定値となり、定速走行に入る。停止指令を受けると、ゲートE、Fが開き、カウンタAは減少し、モータは減速され、0に

図4 走行機構

図3 転動形集電子

図5 走行制御ブロック図

なると停止する。

6. 特性 実験

6.1 集電子の発塵 図6に摺動形と転動形の集電子からの発塵を比較した結果を示す。実験はクラス20のクリーンブース内で搬送装置を40 m/sの速度で直線走行をくり返したときの発塵をダストカウンタで測定した。摺動形の集電子の場合、クリーンブース内のクリーン度はクラス200以上に低下する。転動形の集電子の場合、クリーン度の低下はほとんど見られず、クリーンブース内のバックグラウンド値とほとんど有意差がない。通常のダストカウンタでは測定できないオーダの発塵と考えられる。摺動形集電子に比べ、転動形集電子の発塵が非常に少ないことがわかる。

6.2 停止精度 停止精度に関する実験結果を図

図6 集電子からの発塵

図7 停止精度

7に示す。搬送軌道はアルミニウム製、搬送装置の車輪はウレタン製である。軌道と車輪の間の摩擦の変動により停止精度が変動していると考えられるが、変動値は当初の目標の ± 1 mm以内に納まっている。図で縦軸はフォトダイオードの光を受光してから停止するまでの距離で、この距離が変わっても停止精度は距離に関係なく変動している。停止精度の変動は軌道と車輪の材質によるということが出来る。

6.3 搬送距離と発塵 前章に述べた転動形集電子と走行機構を有する搬送装置(図2に示した装置)を連続走行させ搬送距離による発塵の変化を求めた。

図8にその結果を示す。通常、クリーン度を測定している $0.5 \mu\text{m}$ 以上の塵埃に関して、100 kmの走行でもクリーン度はほとんど変化しない。同図に $0.3 \mu\text{m}$ 以上の塵埃を測定した結果も示してあるが、走行するに従い、発塵が減少する傾向にある。このような結果から、転動形集電子は長寿命であることがわかる。

6.4 直線軌道走行と曲線軌道走行 以上の実験ではクリーン度の測定にダストカウンタを用い測定した。周囲のバックグラウンド値との差が出るように、図9に示す搬送装置の直下にLSIウェハを設置し、ウェハ表面に付着する塵埃の個数を計測した。表1に走行

図8 搬送装置の連続動作試験結果

図9 付着塵埃による測定

表 1 付着塵埃測定結果

Running Pattern	Dust pieces/time
Straight	0.3225
S Curve	1.950
Start, Stop	0.0468
Junction	0.1060

Wafer : 4"φ
Speed : 40 m/s
S curve : R=550 mm

パターンと付着した塵埃の個数との関係を示す。測定値は 500 回の走行の平均値である。曲線軌道走行は直線軌道走行に比べ、1 桁塵埃が多くなっている。

走舵機構により、車輪および車体の中心の走行軌跡を軌道に一致させても、集電子と送電線間の横滑りにより発塵すると考えられる。表 1 には回転分岐軌道により搬送装置の走行方向を 90° 曲げた場合の値も示してある。搬送装置が回転分岐部で走行停止し、90° 方向変換し、発進・走行したときの値である。軌道を曲線として方向変換するよりも、分岐軌道を用いた方が発塵上有利である。

6.5 走行速度と発塵 搬送装置の走行速度と発塵の関係を図 10 に示す。測定は前節と同様にウェハに付着した塵埃を計測している。発塵は搬送速度に比例して増加する。

7. 結 言

LSI 製造クリーンルーム内で LSI ウェハを自動搬送する低発塵で高精度な搬送装置を実現するために、集電子機構、走行機構および走行制御法について検討し、以下のようなことを明らかにした。

(1) 転動形集電子および走舵機構を有する走行機

図 10 走行速度と発塵の関係

構の採用により、搬送装置の低発塵化を図ることができる。

(2) 走舵機構を設けても、曲線軌道走行時の発塵は直線軌道走行時に比べ 1 桁多い。クリーンルーム内で軌道を設置する場合、曲線軌道を用い走行方向を変換するよりも、分岐軌道を用いた方が発塵上有利である。

(3) 転動形集電子、走舵機構を用いた搬送装置に対して、連続走行試験を行った結果、100 km の搬送でも良好な発塵特性を得た。

(4) 動作指令をデジタル伝送し、搬送装置を自律走行させることにより、停止精度 ±1.0 mm 以内という良好な結果を得た。

文 献

- (1) 原田, 電子通信学会誌, 64-9 (昭 56), 980.
- (2) 中尾, 電子材料, 20-12 (昭 56), 33.
- (3) R. Burunner, *Electronics*, 27. Jan. (1981), 121.
- (4) N. Wu, *ISSCC Digest Tech. Paper*, (1980), 208.
- (5) Sumney, L., *IEEE Spectrum*, 17-4 (1980), 24.
- (6) Mano, T., *ISSCC Digest Tech. Paper*, (1980), 234.