半導体シリコンウエハの量産対応両面研磨法*

——エッチしたウエハ粗面の平滑化過程を考慮した片面鏡面化技術——

赤 松 潔** 中 村 孝 雄** 梶 田 正 美**

Double Side Polishing for VLSI of Silicon Wafer
— One Side Mirror Polishing Considered with Etched Wafer Roughness —

Kiyoshi AKAMATSU, Takao NAKAMURA and Masami MASUDA

This paper deals with double-sided polishing technology used in Si wafer production lines. The surface roughness and flatness of Si wafers, polished on a double-sided polishing machine with etched wafers, were examined, in order to obtain a mirror surface on one side for fabricating semiconductor elements, and a rough surface on the reverse side for guarding against defects generated in the VLSI production lines. The difference in roughness between the two surfaces depends not on the fact that two kinds of polishers are being used, but on the large variation in the polishing velocity applied to the upper plate and to the lower one. A rough surface of $1.2 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ was produced without any effects on the roughness and flatness of the mirror surface by using different polishing speeds for each side.

Key words: Si wafer, mirror polishing, double-sided polishing, polisher, polishing velocity, wafer flatness

1. 緒 言

半導体素子用シリコンウエハは、素子の高集積化に伴い、高い形状精度、結晶欠陥のない高品質な加工面が要求されている。このため、メカノケミカルポリシング法により加工ひずみの少ない鏡面に仕上げている¹⁾。

ウエハの形状精度を向上するには、両面をバランスよく加工できる両面研磨方式が有効であり、この研磨方式における研磨温度の平面度への影響²⁾³⁾、ウエハ厚みのインプロセス計測制御⁴⁾など、加工精度の向上策について報告されている。しかし、通常の両面研磨方式では、ウエハ両面が鏡面となるため、ウエハ表裏面の判別が困難となり、ゴムベルトや吸着ジグによるウエハの搬送不良、および熱処理時のウエハ裏面からの熱反射による酸化膜厚ばらつきなど、半導体素子の量産製造プロセスへの影響が懸念される。このため、生産工程を変更することなく、従来と同じように表裏の判別が可能のように片面のみ鏡面仕上げするウエハの両面研磨技術が必要となっている。

ウエハ片面のみを鏡面とする両面研磨技術としては、ウエハ保持用キャリアの強度を考慮したウエハ平

面度の向上についての報告があるが⁵⁾、粗面とするウエハ裏面の粗さ変化については述べられていない。また、微小突起部のある面からの平滑化については、数十 μm の凹凸を有するガラス面が研磨圧力の差により平滑化されていく加工メカニズムが研究されている⁶⁾。また、研磨面の平滑化に関して、ふっ素樹脂ポリシャによる平滑化⁷⁾や、 BaCO_3 研磨剤の表面粗さへの影響⁸⁾などについて報告されている。しかし、いずれもシリコンウエハの量産研磨を前提とした2~3 μm の凹凸をもつエッチング面から鏡面への平滑化過程については明らかにされていない。

ここでは、両面研磨装置で、半導体素子の生産性を考慮して、ウエハの片面のみ鏡面とする研磨方式に関して、

- ① エッチウエハの微小凹凸形状から鏡面になっていく過程が、ウエハとポリシャとの摩擦係数やポリシャの剛性、研磨速度によってどのように異なるか、
- ② ウエハの上下面で異なる研磨条件のウエハ平面度に及ぼす影響、

などについて実験検討した。その結果を以下に述べる。

2. 実験方法及び装置

まず、片面研磨装置によりウエハが平滑化されてい

* 原稿受付 平成4年8月5日

** 正 会 員 (株)日立製作所生産技術研究所 (横浜市戸塚区吉田町 292)

Table 1 Main specifications of single-sided polishing machine

Machine model	TYPE III (ENGIS Co.)
Polishing plate	ϕ 300 mm
Workpiece	(100) Silicon wafer ϕ 100 mm $\times$ T 0.5 mm Loading capacity : 2 pieces

Table 2 Experimental conditions of single-sided polishing

Revolution of polishing plate	10-150 min ⁻¹
Polisher A, C	Polyester fiber
Polisher B	Polyester fiber impregnated with porous polyurethane
Polishing reagent	Colloidal silica, Grain size : 0.02 μ m, pH=10-10.5, Flow rate : 1×10^{-5} m ³ /min
Polishing pressure	12 kPa
Polishing time	15-60 min

く様子を明らかにし、次にこれらのデータをもとに両面研磨装置を用い、片面鏡面化条件でのウエハの表面粗さ変化と形状精度の評価を行っている。

1) 片面研磨の実験条件

ウエハの微小凹凸面からの平滑化過程を実験的に明らかにするために、エッチウエハを片面のみ研磨して、表面粗さの変化を測定した。表1に、片面研磨の実験に用いた装置概要を示す。この片面研磨装置では、直径300 mmのポリシ定盤上に、直径100 mmの2枚のウエハを載せ、表2に示す実験条件で同時に研磨している。

表3に、使用した3種のポリシの特性と断面形状を示す。表面の摩擦係数や微視的の異なる3種のポリシを用いて研磨実験を行った。ポリシの動摩擦係数は、ひずみゲージにて測定した摩擦抵抗より求めている。さらに、ポリシ表面の繊維径より断面2

Table 4 Main specifications of double-sided polishing machine

Polishing plate diameter	OD 500 $\times$ ID 220 mm
Carrier	P. C. D. 180 mm Loading capacity : 5 pieces
Polishing method	Double-sided polishing Upper plate, lower plate, and sun gear rotated independently

Table 5 Experimental conditions of double-sided polishing

Polishing reagent	Colloidal silica, Grain size : 0.02 μ m, pH=10-10.5, 5×10^{-5} m ³ /min
Polishing time	2-90 min
Polishing pressure	15 kPa

次モーメント I 、ポリシの変形特性よりヤング率 E 、その剛性 EI をそれぞれ求めている。ここで、ポリシ A は、一般に粗研磨に用いられているポリエステル繊維の不織布、ポリシ B は、仕上研磨に用いられる発泡ポリウレタンを含浸したポリエステル繊維でできている。ポリシ C は、ポリシ A と同様にポリエステル繊維の不織布でできているが、摩擦係数がポリシ A に比べ小さい。

2) 両面研磨の実験条件

両面研磨実験には、直径500 mmのポリシ定盤上に、直径150 mmのウエハ5枚を同時に研磨できる研磨装置を用いた。表4に装置の概要を示す。

両面研磨装置を用いてエッチウエハ片面のみを平滑化する研磨実験には、表5に示す実験条件で、表6のように

- ① 上下のポリシ定盤に異種のポリシを貼り付ける方法
- ② ポリシ定盤とウエハ研磨面間との相対速度を、ウエハの上下面で異なる条件に設定する方法

Table 3 Characteristics of polishers

	Polisher A	Polisher B	Polisher C
Structure and material	Coarse polyester fibers bound impregnated with polyurethane	Polyester fibers impregnated with porous polyurethane	Fine polyester fibers bound impregnated with polyurethane
Coefficient of dynamic friction	0.48	0.35	0.32
Stiffness of polisher EI kg $\cdot$ mm ²	9.4×10^{-6}	5.4×10^{-6}	8.0×10^{-6}
Working surface			
SEM photographs of polisher (Cross section)			
400 μ m			

Table 6 Experimental conditions for single mirror surface in double-sided polishing machine

Method	① Differential polisher material		② Differential relative velocity		③ Improving differential relative velocity	
Relative velocity m/min	Upper plate	Lower plate	Upper plate	Lower plate	Upper plate	Lower plate
	70	70	70	3	70	3
Polisher	Polisher A	Polisher B	Polisher A		Polisher A	Polisher B

Fig. 1 Influence of polishing time on surface roughness measured with Talysurf-4

について比較実験を行った。

研磨量は研磨前後の板厚差を測定し、ウエハ形状は触針式表面粗さ計（形式：タリサーフ 4 形およびフォームタリサーフ S4C 形，テラーホブソン社），光学式形状測定器（形式：TOPO-3D，ワイコ社）で測定した。また，研磨ウエハの平面度は，光干涉式平面度測定器（形式：オートソート，ジーシーエ社）を用いて評価した。

3. 実験結果と考察

3.1 微小凹凸面の平滑化過程

エッチウエハからの粗研磨条件における微小凹凸面の平滑化過程を明らかにするため，粗研磨用のポリシャ A を用い，研磨圧 12 kPa，ポリシ定盤回転数 100 min^{-1} で研磨実験を行った。

図 1 に，研磨時間に対するウエハの表面粗さの推移を示す。そのときの表面形状測定例として，図 2 に，研磨前と研磨途中のウエハのフォームタリサーフによる等高線図と断面曲線を示す。図 2 (a) に示す前加工状態のウエハエッチ面は，結晶方位の選択的なエッチングにより $2\sim3 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ の凹凸面となっている。一方，10 分間研磨後のウエハ研磨面は，図 2 (b) より明らかなように，微小突起部が研磨により除去されてランケイトな形になり，エッチングくぼみが浅く，小さなくぼみ部が点在する研磨面になる。この例では，くぼみのために表面粗さが $0.4 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ となっている。これは研磨初期では，ウエハの凸部ほどポリ

Fig. 2 Profiles of wafer before and after polishing at points A and B shown in Fig. 1, measured with Talysurf-S4C

シャの変形が大きく，研磨圧が高くなり機械的研磨作用により平滑化される。

研磨時間が 20 分を過ぎると，研磨面は微小なくぼみがわずかに点在する表面粗さ $0.1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ 程度の平滑な面となる。この状態では，ポリシャの変形によるウエハの突起部と微小くぼみ部に加わる研磨圧力の差が小さくなるために，表面粗さを $0.1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ より平滑にするには，さらに多くの研磨量が必要になる。

図 3 に，研磨時間 60 分での研磨ウエハの光学式測定器による形状を示す。図 2 (b) の突起部がさらに研磨され，微小くぼみ部のない平滑面となり，表面粗さは $2.2 \text{ nmR}_{\text{max}}$ の鏡面になっている。この表面粗さは，図 1 の点 C の表面粗さ $8 \text{ nmR}_{\text{max}}$ と大きく異なる理由は，触針式と光学式の測定方式，および測定長さの違いによる。

3.2 ポリシャの機械的研磨作用の研磨能率への影響

微小凹凸のあるウエハエッチ面からの平滑化には，ポリシャの機械的研磨作用の影響を明らかにする必要がある。そのため，ポリシャの機械的研磨作用として，摩擦係数および剛性の異なる 3 種のポリシャに対して，その研磨結果への影響について実験を行った。さらに，ウエハとポリシャとの研磨速度の研磨能率への影響を明らかにするため，ウエハとポリシ定盤との相

Fig. 3 Surface of polished wafer at point C shown in Fig. 1

Fig. 4 Influence of polisher and velocity on stock removal rate

対速度を変えて研磨実験を行った。ここで、研磨圧 12 kPa 及び研磨時間 60 分一定の研磨条件としている。

図 4 に、ポリシャ種類と研磨速度の研磨能率への影響を示す。ポリシャ A, B, C とも、研磨能率は研磨速度に比例している。研磨速度、すなわちポリシャの機械的研磨作用と研磨能率に強い相関があると言える。ところで研磨能率はポリシャ A > C > B の順に大きい。この理由について次に述べる。

図 5 に、ポリシャの摩擦係数および剛性の研磨能率への影響を示す。ポリシャ A と C では、ポリシャの摩擦係数の大小と相関があるが、ポリシャ B と C では、摩擦係数と研磨能率は互いに逆の傾向を示しており、不織布ポリシャの方が多孔質ポリシャに比べて研磨能率が高い。

一方、ポリシャの剛性と研磨能率には強い相関があり、剛性の高いポリシャほど研磨能率を高くできることが分かる。

Fig. 5 Influence of friction and stiffness of polisher on stock removal rate

Fig. 6 Relationship between ratio of polishing distance and surface roughness at various polishing velocity

したがって、ポリシャの剛性を変えることにより、研磨能率の差を 2 倍程度に変えることができるのに対し、ポリシャに研磨速度差を与える手法では、研磨能率の差を 10 倍以上に大きくでき、片面鏡面化には効果的であると予測される。

そこでポリシャ A を用い、種々の研磨速度で、60 分間研磨したときの表面粗さを測定した。図 6 に研磨距離比と表面粗さの関係を示す。ここで、鏡面を得る条件、すなわち、鏡面が得られるウエハとポリシャとの相対速度 70 m/min、研磨時間 60 分での研磨距離 L_0 に対する、低い研磨速度での研磨距離 L の比 $R_r (=L/L_0)$ を横軸にとっている。 R_r を 1/10 以下とすることにより、ウエハ粗面の表面粗さを $1 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 以上に維持できる。

Fig. 7 Influence of polisher on surface roughness of wafers

3.3 異種ポリシャによる片面鏡面化

異なるポリシャの機械的研磨作用の研磨能率差を利用して、ポリシャによる片面鏡面化についての研磨実験を行った。両面研磨装置の下ポリシ定盤にポリシャA、上ポリシ定盤にポリシャBを貼り付けて、上下定盤とウエハとの相対速度 70 m/min、研磨圧 12 kPa の研磨条件で、ウエハの両面を同時に研磨した。そのときの表面粗さの推移を図 7 に示す。ウエハの表面粗さは、研磨時間とともに向上していくが、ポリシャの機械的研磨作用の小さいポリシャ B の方が粗い研磨面となっている。しかし、この粗面においても、60 分研磨後には $0.1\text{ }\mu\text{mR}_{\text{max}}$ 以内の鏡面となり、ウエハ表裏面の目視による判別が難しい。

このように、通常のウエハ研磨に用いられる範囲のポリシャの種類を変えた程度では期待したほどの粗面が得られない。

3.4 研磨速度差による片面鏡面化

研磨速度による研磨能率の差を利用するため、ウエハとポリシ定盤との相対速度をウエハ上下面で変えて片面のみを鏡面化する研磨実験を行った。

ここで、ウエハ上下面の相対速度比 R_v を、

$$R_v = V_u / V_l$$

V_u : ウエハ上面と上ポリシ定盤との相対速度

V_l : ウエハ下面と下ポリシ定盤との相対速度

としている。

図 8 に、相対速度比 $R_v=1/23$ ($V_u=3\text{ m/min}$, $V_l=70\text{ m/min}$) において研磨したウエハ上下面の表面粗さを示す。また、図 9 には 46 分研磨後の粗面側の等高線図と断面曲線を示す。この条件では、相対速度 V_l を 70 m/min としたウエハ下面が、研磨時間 40 分で表面粗さ $8\text{ nmR}_{\text{max}}$ の鏡面になるのに対し、相対速度 V_u を 3 m/min としたウエハ上面では同じ研磨

Fig. 8 Effect of relative velocity of wafer to polisher on surface roughness

Fig. 9 Profile of wafer surface U polishing time 46 min in Fig. 8

時間で表面粗さ $1.2\text{ }\mu\text{mR}_{\text{max}}$ となる。後者の粗面には、図 9 に示すようにエッチ痕が残存しており、目視によってウエハの鏡面と粗面が明りょうに判別できる。

3.5 研磨ウエハの平面度

図 10 に、研磨ウエハの平面度の測定例を示し、その精度分布を図 11 に示す。片面のみを鏡面に仕上げる相対速度差を与える研磨条件においても、ウエハ平面度 TTV (Total Thickness Variation) の平均値 $\bar{x}=2.1\text{ }\mu\text{m}$ の形状精度を得ている。

しかし、このように相対速度差を与えて研磨したときの形状精度は、研磨速度比が 1 の、通常のウエハ両面が鏡面となる研磨条件で研磨したウエハ平面度 TTV の平均値 $\bar{x}=1.8\text{ }\mu\text{m}$ に比べて、わずかに悪い。この原因として、

- ① ウエハ上下面のポリシ定盤との研磨条件が異なる片面鏡面条件では、ウエハ上下面における研磨

Fig. 10 Typical examples of mirror wafer flatness after single side and double side polishing

Fig. 11 Frequency distributions of wafer flatness

抵抗に差が生じ、キャリア内でのウェハ保持状態が影響を受けること、

- ② ウェハ中央部が凹形状になり、ウェハ裏面への研磨剤の流入が少なく、研磨面内に温度分布が生じ、形状劣化していること⁹⁾、

などが挙げられる。

このため、とくに②項に対する対策として、研磨面への研磨剤の流入量を多くして、研磨面の温度分布の均一化を図る目的で、表6の③の研磨条件にて実験検討した。ウェハとポリシャとの相対速度を小さくする加工面では、ウェハはポリシャに吸着され、ウェハとポリシャとの間への研磨剤の流入量が減少すると考え、流量抵抗を小さくし、しかも、ポリシャ表面の発泡層に研磨剤が一時的に蓄えられ研磨面の温度差を小さくできる⁹⁾ポリシャBを選定した。以上より、粗面を保つ加工面にポリシャBを貼り付け、鏡面とする面にポリシャAを用いて、相対速度差方式($R_v = 1/23$)で研磨した結果、図10に示すように、ウェハ平面度TTVは $\bar{x} = 1.9\mu\text{m}$ が得られ、相対速度差の影響を最小にできた。

4. 結 言

ウェハを高精度に加工するために両面研磨装置を用い、片面を鏡面、もう一方の面を粗面とする量産向け

のウェハポリッシング技術を開発する目的で、ウェハエッチ面の微小凹凸形状の平滑化過程とウェハ平面度の向上について実験により明らかにした。それによれば、本実験条件範囲では、

- (1) $2\sim 3\mu\text{m}R_{\text{max}}$ のエッチウェハ面はポリシャの機械的研磨作用によって、突起部がしだいに平滑になり、くぼみ部が点在する研磨面を経て、 $2\text{nm}R_{\text{max}}$ の鏡面となる、
- (2) 上下ポリシ定盤に、剛性の異なるポリシャを貼り付け、機械的研磨作用を変えた両面同時研磨では、粗面とすべき研磨面の表面粗さは $0.1\mu\text{m}R_{\text{max}}$ となり、鏡面との目視判別は難しい、
- (3) ウェハとポリシャとの相対速度が上下の研磨面で異なる両面同時研磨では、相対速度比を大きく採ることにより、粗面とすべき研磨面の表面粗さは $1\mu\text{m}R_{\text{max}}$ を超え、鏡面と粗面との判別の容易なウェハを得た、
- (4) 相対速度差研磨方式において、粗面とすべき加工面に研磨剤の流入を良くすることにより、研磨面温度の均一化を図り、上下面に速度差のない通常の両面研磨で得られるウェハ平面度には近い $1.9\mu\text{m}$ の平面度を得た、

ことなどを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 唐木俊郎, 三宅正二郎, 渡辺純二: Si単結晶のメカノケミカルポリッシングにおける加工速度促進機構, 精密機械, 46, 3 (1980) 331.
- 2) 石川通夫: Siウェハの両面同時ポリッシング, 昭和56年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1982) 449.
- 3) 木下正治, 南山隆幸, 森下繁文, 江畑泰男: 5インチシリコンウェハの両面ポリッシング, 昭和57年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1982) 501.
- 4) 中村孝雄, 赤松 潔, 塚原 優: シリコンウェハの鏡面仕上げ(第5報)——液中両面研磨装置の試作, 1989年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1989) 471.
- 5) 木下正治, 栗原誠司: シリコンウェハのワックスレスポリッシング, 昭和60年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1985) 453.
- 6) 河西敏雄, 薦田みよ子, 小林 昭: 鏡面研磨法の研究——微小凹凸面の平坦化の過程について, 昭和58年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1983) 79.
- 7) T. Kasai, K. Horio, T. Karaki-Doy and A. Kobayashi: Improvement of Conventional Polishing Conditions for Obtaining Super Smooth Surfaces of Glass and Metal Works, Ann. CIRP, 39, 1, (1990) 321.
- 8) 八田健一, 安永暢男: Siウェハのメカノケミカルポリッシングに関する研究—— BaCO_3 砥粒による加工特性, 1990年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1990) 315.
- 9) 赤松 潔, 中村孝雄, 渡辺 真: シリコンウェハの鏡面仕上げ(第3報)——研磨条件のウェハ研磨面温度分布への影響, 精密工学会誌, 58, 11 (1992) 1855.