

磁場配列性複合砥石によるウエハ損傷の極小化と 研磨装置の開発 (第1報)

—シリコンウエハ損傷評価の確立—

大柴勝彦・藤原和徳・山田博之・西村通喜

Minimum Damage on Silicon Wafer by MAGIC Wheel and Development of Polishing Machine (1st report)

—The Establishment of Estimation Method for Damage on Silicon Wafers—

Katsuhiko OSHIBA, Kazunori FUJIHARA, Hiroyuki YAMADA and Michiyoshi NISHIMURA

要 約

シリコンウエハ (以下、ウエハと称す) の表面研削時に発生する加工変質層深さと抗折強度の試験方法などについて、測定・評価する手法について検討し、裏面研削加工の加工条件にフィードバックさせることを目的に実施した。

加工変質層深さの測定については、ウエハの裏面を研削加工後に斜め5°の角度で研磨加工し、水酸化ナトリウム溶液でエッチング処理を行った面を電子顕微鏡で観察した結果、加工変質層の深さを確認することができた。

ウエハの抗折強度試験については、三点曲げ試験と球抗折試験方法があるが、本研究では試料切断時の影響を少なくするためウエハ球抗折試験方法を採用し実験を行った。この結果、ウエハに荷重を加える方向により破壊の形態および破壊強度が大きく異なることが判明した。

1. 緒 言

携帯電話やパソコンなど情報通信機器は高速化や高密度化の急速な進展と、またICカードやチケットなどに埋め込み、偽造や防犯を目的とした集積回路の需要の飛躍的な発展にともない、使用されるウエハも大型化や薄型化が強く要望されてきている。

ウエハを薄く加工する場合、ウエハに回路を形成した後に裏面を加工し薄くしていくが、その際に研削加工面には微細なクラックや加工歪みなど、いわゆる加工変質層が発生し、ウエハの搬送や加工機に固定する際に破損が起き易く、極薄加工に限界がきている状態である。

そこで今年度は、一般に市販されている砥石とMAGIC砥石 (MAGnetic Intelligent Compounds) を用いウエハ裏面研削加工時に発生する加工変質層の深さとウエハの抗折強度を測定・評価する手法について検討し、裏面研削加工の条件設定にフィードバックさせることを目的とした。

2. 実験方法

ウエハの評価方法として、加工変質層の深さ測定、ウエハの抗折強度測定、ウエハの内部応力測定および超音波 (横波) を用いたウエハの評価を行った。本実験では、表面に回路が形成されていないウエハを用い、裏面研削加工後のウエハをそれぞれの大きさに切断し実験用

試料片とした。以下に実験方法を示す。

2-1 加工変質層深さの測定

加工変質層の深さを測定する方法としては、TEMを用いた加工歪み観察及びマイクロラックの測定方法や薬品を用いてエッチング処理後のSEM観察²⁾があるが、本研究では簡便で直接的な観察が可能である、エッチング処理による加工変質層深さを観察した。

加工変質層深さの観察方法として図1に示すように、裏面研削加工後のウエハを5°の角度を付けて斜め研磨を行い、水酸化ナトリウム溶液 (0.2mol/l) で2時間アルカリエッチングを実施後、SEMによる表面観察を行った。

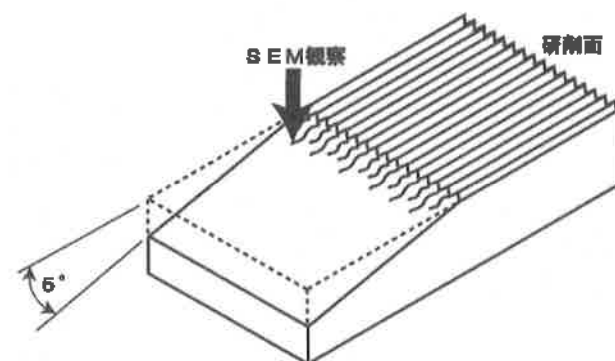


図1 加工変質層深さ測定用試料研磨概念図

2-2 ウエハの抗折強度測定

ウエハの抗折強度測定には三点曲げによる測定と球を用いた球抗折方法³⁾がある。本研究では、試料作製時に切断面などに発生する欠けやマイクロクラックなどの影響が少ない⁴⁾球抗折試験法で行った。

球抗折試験は図2に示すように、直径7mmの穴を有する固定治具の中心位置にフリーな状態で試験片を設置し、試験片の上部から直径6mmの人工ルビー球で中央に荷重を加える方法とした。

球抗折用の試験片は、裏面を研削砥石#1500で290 μ mに研削加工した8インチウエハを用い、オリフラ(Orientation Flat)に平行方向と直角方向にカッターナイフで傷を付け、手で20mm角に切断した試験片を用いた。

図3に球抗折試験装置全景を示す。

球抗折試験装置は、荷重値をデジタルフォースゲージで検出し、試験片の撓み量はマグネスケールで読み取り、荷重-変位曲線が得られるような構成とした。

また、球抗折試験時のクロスヘッドスピードは6mm/minとした。ウエハに荷重を加える方向として、裏面研削加工を行った裏面側からとポリシング加工された表面側から荷重を加える2通りの試験方法で行った。

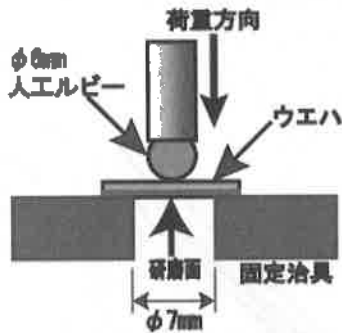


図2 球抗折強度試験方法の概略



図3 球抗折試験装置の全景

さらに、高速ビデオカメラを用いて、試験片の破壊進行の様子を観察するとともに、有限要素法を用いた解析もあわせて行った。

2-3 ウエハの内部応力の測定

ウエハを研削加工すると最表面層には、マイクロクラックや加工歪みが発生し、その結果ウエハ内部には残留応力が存在することになる。

そこで、非破壊でウエハ全体の内部残留応力を測定する方法として、赤外線による評価技術が開発されている。

測定には、Tepla社 SIRD (Scanning Infrared Depolarization Measurement) を用いた。

2-4 超音波(横波)を用いたウエハの評価

非破壊でウエハの加工変質層を検査する方法として、超音波を用いて評価する二つの手法がある。

一つは直進性の良い疎密波の縦波を用いた方法、他は、進行方向に直角に振動しながら進む剪断波で評価する横波を用いた方法である。

測定には東芝タンガロイ(株)製材料表面音診断機TP-1001を使用して、横波法で測定した。図4に測定方法の概略を示す。また表1に測定条件を示す。

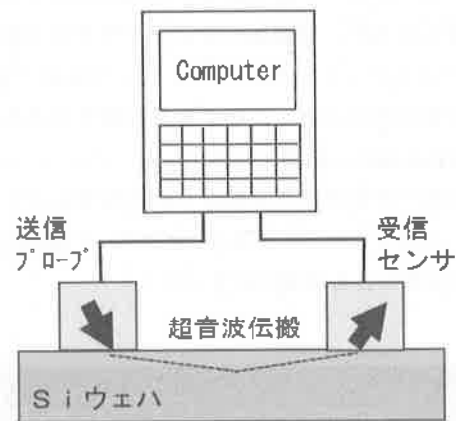


図4 超音波(横波)測定装置の概略図

表1 超音波(横波)測定条件

送信周波数	5 MHz	受信角度	19°
入射角度	19°	測定距離	5 mm

3. 結果および考察

3-1 加工変質層深さ

ウエハ裏面研削加工後20mm角に切断し、5°の角度で斜め研磨した試験片をSEMにより観察し、クラックなど加工変質層の長さを写真上から読み取り、断面方向の

深さとして計算で求めた。その結果を表2に示す。また、SEM観察結果の代表例を図5に示す。

表2 加工変質層深さ測定結果

裏面研削使用砥石	加工変質層深さ
市販ダイヤモンド砥石 (#325)	11.7 μ m
MAGIC砥石 (#325)	6.5 μ m
市販ダイヤモンド砥石 (#1500)	1.2 μ m
市販ダイヤモンド砥石 (#2000)	1.0 μ m
MAGIC砥石 (#2000)	2.1 μ m

加工変質層深さ測定の試験片には、#325、#1500および#2000を市販ダイヤモンド砥石とMAGIC砥石にて裏面研削加工したウエハを用いた。

表2から分かるように、一般に市販されている#325のダイヤモンド砥石を用いて裏面研削加工を行った場合、その加工変質層の深さは11.7 μ mであるのに対し、#325のMAGIC砥石では約1/2の6.5 μ mの深さであった。

これは一般市販砥石のボンド材料では、ダイヤモンド砥粒を強固に固定するために硬度の高いレジンボンドを用いているのに対し、MAGIC砥石のボンド材料は樹脂を使用しており、研削加工中にダイヤモンド砥粒に負荷が掛かるとボンド材料がクッションの役目を果たし、ボンド材料の硬さの違いが加工変質層深さに大きな差となって表れたものと推察される。

図5は加工変質層深さを測定した代表例を示したものであり、市販ダイヤモンド砥石(#2000)で裏面研削後の加工変質層部のSEM観察結果である。

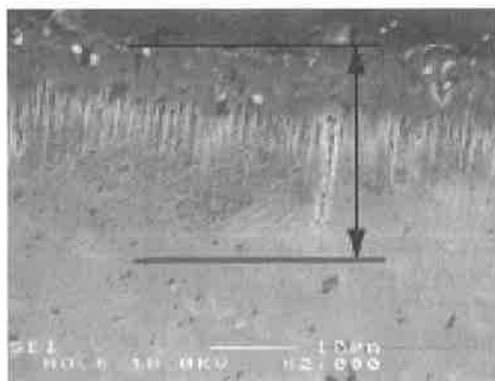


図5 加工変質層SEM観察結果

図中でマーキングした上部線はウエハの裏面研削加工面と斜め研磨面との境界部であり、下線部がウエハの内部方向に最も進展した加工損傷である。

このSEM観察結果から、上部線の近辺に4~5 μ m程度の長さで無数に発生している溝は、裏面研削加工後

にウエハ表面を走査型プローブ顕微鏡(SPM)で測定した表面粗さ(P-V)値と数値が近いこと、研削加工時の加工条痕と考えられるが、中央近辺に見られる大きな溝は加工条痕にクラックが加わった加工損傷と推測される。

3-2 ウエハの抗折強度測定について

3-2-1 ウエハの抗折強度測定

図3の装置を用いて、図2の球抗折試験方法によりウエハ表面側(エッチング面)から荷重を加えた時の荷重-変位曲線を図6に、またウエハ裏面(加工面)から荷重を加えた時の荷重-変位曲線を図7に示す。

図6から分かるように表面側から荷重を加えると、ほぼ直線的に荷重値と変位量は増加し、荷重値は平均で約20Nであり、その時のウエハの変位量は0.1~0.15mmであった。

それに対し図7に示すように、裏面側から荷重を加えた場合、バラツキは大きいものの平均荷重値は約100Nであり、その時のウエハの変位量は、最大で0.5mmを越える変位量であることが確認できた。

図6及び図7から、表面側から荷重を加えた場合と裏面側から荷重を加えた場合とでは、平均荷重値で約5倍の差があることが分かる。

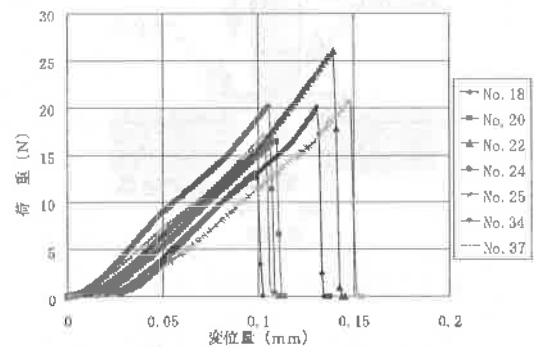


図6 ウエハ荷重-変位曲線(表面側から荷重)

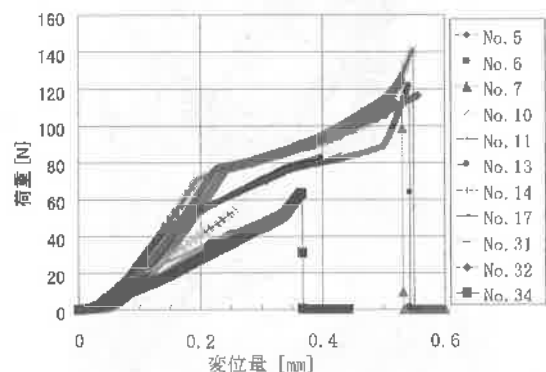


図7 ウエハ荷重-変位曲線(裏面側から荷重)

図6に示すように、表面側から荷重を加えた場合は、裏面研削加工された面にマイクロクラックなど加工変質層が発生し、このマイクロクラックが引き金になって引張応力が集中して、破壊の起点となり最大弾性変形する前に破断したものと考えられる。

これに対し図7に示すように、裏面側から荷重を加えた場合には、ポリシング加工された面が引張応力を受けるとともに、加工変質層が除去された面であり、平均荷重値も大きくなったものと考えられる。このため荷重-変位曲線も図6とは異なっている。

図7の荷重-変位曲線は、最大荷重値が60N以下の試料と最大荷重値が100N以上の荷重値を示す試料の大別して2種類に分類することができる。

最大荷重値が60N以下の試料の場合、荷重値は直線的に増加し、最大弾性変形領域内で破断が発生しているものと考えられる。また、最大荷重値が100Nを越える試料は、加圧によるウエハの変位量が0.2mm程度までは直線的に増加し、この荷重値までが最大弾性変形領域内と考えられる。さらにこの領域から変位量が0.5mmを超えた領域では、荷重-変位曲線の増加率は緩やかとなり、試験片の表面や内部にマイクロクラックなどが発生し、さらにクラックが進行しつつある領域であると推察され、これ以降、破壊に至っている。

このように荷重を表面側から加えた場合と裏面側から加えた場合とでは、荷重値とウエハの変形量が大きく異なってくるのが明らかとなった。

3-2-2 ウエハの抗折破壊観察結果

裏面研削加工したウエハの抗折強度試験を行う際に、破断する状況を高速ビデオカメラで撮影した結果を図8および図9に示す。また、図10に破断した試験片の断面写真を示す。



図8 抗折試験時の破壊状況（表面側から加圧）

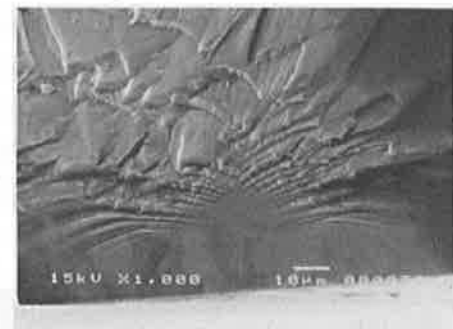


図9 抗折試験時の破壊状況（裏面側から加圧）

破断コーナ一部



破断後のウエハ断面コーナ一部



上記中央の枠部分を拡大

図10 ウエハ抗折強度試験後の断面観察結果

図8は裏面研削加工面を下にし表面側から荷重を加えたときの破壊の状況を観察した結果である。また図10に破断した試験片断面のSEM写真を示す。

図8はウエハが結晶方向に平行な面(011面)と直角な面(011̄面)に沿って破壊されているのが確認できる。

表面側から荷重を加えた場合、裏面研削加工面にはウエハがたわむことにより引張応力が発生し、図6からも明確なように、加工変質層内に有するマイクロクラックなどを起点にウエハの最大弾性変形値に達する前に破壊されているものと思われる。

図10はその破断した断面の様子を示した図であるが、破壊の起点部分から扇状にクラックが進行し、荷重を加えたことによる応力も扇状に分布していることが分かる。その後は、011̄面方向にクラックが進展し破壊に至っていると推察される。

しかし、裏面側から荷重を加えた場合は図9に示すように、荷重を加える球を中心として結晶方向には依存しない放射状に破壊が進行し、表面側から荷重を加えたときとは全く異なる破壊形態を示した。

破壊の進展状況としては、ウエハに荷重を加える球との接触部を中心にたわみが発生する。このたわみは表面側から荷重を加えたときと比較すると目視でも確認ができる程度まで変形する。これは図7の荷重-変位曲線の直線部分に相当すると思われ、弾性変形領域であると考えられる。その後、微細なクラックが放射状に発生し始め、

さらに荷重を加えることにより、微細なクラックの本数は増加してくる、これが図7の変位量が0.2~0.5mmの領域部分に相当するものと考えられる。さらに荷重を加えることによりクラック同士がつながり破壊に至ると推察される。

次に、抗折強度測定の結果を検証するため構造解析装置を用いて、ウエハの変形状態や応力分布を解析した、その応力分布状態を図11に示す。

ウエハ断面形状の変形状態は、抗折強度試験時の受け部分の穴半径よりも試験片の寸法が大きいため、ウエハは穴近辺が大きく変形し深絞り加工のような変形状態となっていることが推察される。

応力分布は図11に示すようにウエハの最表面近傍の応力値が大きく、さらに押し込み側よりもその裏面側の方が応力値が大きいことが分かる。

さらに応力の発生した範囲は、非常に小さい範囲で応力が集中しており、図10の破断面の観察結果とも一致している。

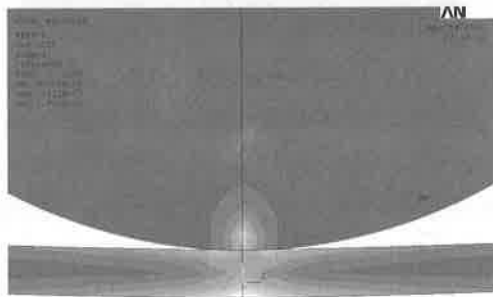


図11 相当応力分布（断面図）

3-2-3 ウエハ内部応力の測定

各種砥石を用いて裏面研削加工したウエハの内部応力の測定結果を表3に示す。

表3 赤外線を用いたウエハ内部応力測定結果

裏面研削使用砥石	平均内部応力値
市販ダイヤモンド砥石 (#325)	2 8 1 8 0 DU
MAG I C 砥石 (#325)	5 5 5 5 DU
市販ダイヤモンド砥石 (#1500)	4 1 9 4 DU
市販ダイヤモンド砥石 (#2000)	5 3 3 7 DU
MAG I C 砥石 (#2000)	4 0 7 8 DU

市販ダイヤモンド砥石(#325)とMAG I C砥石(#325)で裏面研削加工を行った場合を比較すると、前者の方が5倍以上の内部応力値を示した。また、MAG I C砥石については、市販ダイヤモンド砥石よりいずれの粒度の砥石においても内部応力値は小さな値を示した。

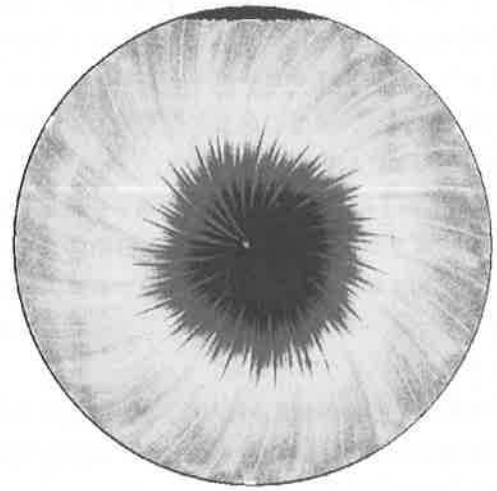


図12 赤外線を用いたウエハ内部応力測定結果

また、図12は市販ダイヤモンド砥石 (#2000) で裏面研削加工したときの内部応力の分布状態である。内部応力はウエハの中心部に集中しており、また裏面研削加工時に発生した加工条痕に沿って内部応力が発生していることが確認できる。

以上の結果から、内部応力の発生は加工による影響が大きく起因していることが分かった。

3-2-4 超音波（横波）を用いたウエハの評価

ウエハの非破壊による加工変質層評価（図4）を実施した結果を表4に示す。

伝搬時間は、#325研削加工、#2000研削加工、ポリシング加工の順に増加していることから、ウエハ内部での超音波の伝搬速度が遅くなっていることが分かる。

また、波形ピーク値は伝搬時間とは逆に減少する傾向を示し、位相変化は増加する傾向であった。

これらのことから、ウエハの加工変質層が減少するほど超音波（横波）が伝搬しにくくなるものと推察される。

表4 超音波（横波）受信信号の解析結果

試料	#325	#2000	ポリシング
	研削加工	研削加工	研磨加工
伝搬時間(μsec)	2.8570	2.8602	2.8612
波形ピーク(mV)	0.8414	0.8153	0.8102
位相変化(rad)	4.8095	5.0605	5.1385
周波数ピーク(MHz)	5.60	5.6	5.60

4 結 言

I Cカードなどに使われるI Cチップは、ウエハに集積回路を形成した後に裏面を研削加工して薄くする必要がある。しかし、この工程でウエハにマイクロクラック

が発生しやすい。

このようにウエハを極薄加工する際に発生する微細なクラックや加工歪みなどの加工変質層は、ウエハの機械的強度を低下させる。このためウエハの搬送時や次工程で加工機に固定する時などに破損する可能性がある。

そこで本研究では、裏面研削加工時に発生する加工変質層の深さや抗折強度の測定・評価方法などを中心に模索し、裏面研削加工条件にフィードバックすることを目的に実施した。その結果、次のことが明らかとなった。

- ①加工変質層の深さは、ウエハを斜め5°の角度で研磨し、水酸化ナトリウム溶液でエッチング処理を行うことで、SEM観察により測定が可能であることが確認できた。
- ②ウエハの抗折強度測定は、加工変質層と抗折強度の関係が明確となることから、球抗折強度試験が適正であることが確認できた。
- ③球抗折強度試験において、ウエハに荷重を加える方向により、その抗折強度、破壊の状況に大きな差が認められた。
- ④構造解析装置を用いて、ウエハの変形状態や応力分布などを解析した結果、押し込み側よりもその裏面側の方が応力値が大きく、抗折強度試験後の破断面観察と良い一致をした。
- ⑤赤外線を用いたウエハ内部応力測定の結果、内部応力はウエハ中心部が最も高い値を示し、また、加工時に発生した加工条痕に沿って応力が発生していることが確認できた。
- ⑥超音波を用いて評価する方法として、横波をウエハ表面に入射することにより、ウエハの加工変質層が減少するほど超音波(横波)が伝搬しにくくなるものと推察される。

本研究は、山梨大学工学部、アポロ電子株式会社および山梨県工業技術センターの三者で構成された、平成15年度地域新生コンソーシアム研究開発事業における分担課題として、加工後のシリコンウエハ損傷評価の確立について実施したものである。

以上、今年度は各種試験方法の検証が中心であったが、次年度はこれらを基にさらに測定・評価の精度を向上させ、裏面研削加工条件にフィードバックさせるためのデータベースを構築する予定である。

最後に、超音波を用いたウエハの評価を行うにあたり、東芝タンガロイ株式会社福原幹夫氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 梅原徳次, 萩原親作, 芝田勲, 枝村一弥: M A G I C 砥石の開発とその応用 (第1報: 磁場配列を利用した新しい砥石による研磨の原理と基本特性), 砥粒加工学会誌, 45, 9 (2001) 23-28
- 2) 周立波, 河合真二, 本田将之, 清水淳, 江田弘, 焼田和明: SiウエハのChemo-Mechanical-Grinding (CMG) に関する研究 (第1報: CMG砥石の開発), 精密工学会誌, 68, 12 (2002) 1559-1563
- 3) 榎島津製作所技術データから
- 4) 有田潔, 岩井哲博, 土師宏, 新田永留夢, 粕豊, 荒井一尚: 8th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics" (2002) 87