

温故知新の鏡面評価技術

魔 鏡

釘 宮 公 一

松下電器産業(株) 中央研究所 ☎619-02 京都府相楽郡精華町光台 3-4

(1994年 8月17日受理)

A New Technique for the Evaluation of Mirror Surfaces ; Makyoh

Koichi KUGIMIYA

Central Research Laboratories, Matsushita Elect. Ind. Co. Ltd.

3-4 Hikaridai, Seikacho, Kyoto 619-02

(Received August 17, 1994)

魔鏡: おどろおどろしい響きがあり, とても現在のハイテクに関与する技術とは思えない。しかし, 現実にはシリコンウエハを初め, コンピューター用のハードディスクや液晶用のガラス基板などの超鏡面の評価には不可欠の重要技術であり, 世界のハイテクに貢献している。Makyoh として, 世界に広く知られ, すでに多方面の鏡面評価に活用されている。わずか 5nm の高低差の緩やかな凹凸を有する鏡面全面の評価には本方法しかない。本稿ではこのような魔鏡技術の発展について, 特に超 LSI の発展や Si ウエハの大口径化・高品質化での貢献を中心に記述する。

1. は じ め に

魔鏡は, 紀元前, 中国で誕生した古代の技術である。殷の時代(BC1700年頃)の璧を製造する鏡面研磨技術に端を発しており, 前漢の技術書(BC100年頃)に記述されている。中国では廃れたものの日本に伝承され, 江戸時代には大いにもてはやされたようである。表1に示すように, 明治時代になってお抱え外人教師の注目をあび, 一時世界に広く紹介されたが, また, 長らく忘れ去られてしまった。その秘密性ゆえに技術が極在化しており, ブームが去ると忘れられる運命にある。

さて, 魔鏡とは, 厚い金属を透かしたように裏面の模様を投影する不思議な鏡である。なかでも背面の阿弥陀仏を投影する魔鏡や裏面には見えないキリスト像を投影する隠れ切支丹鏡は有名である。この魔鏡技術はいったん途切れたものの, 京都在住の和鏡師(無形文化財)山本鳳龍氏により再興され, 古来よりの伝統的技法として世界で唯一の技術が継承されている。

この魔鏡技術が, 現在のハイテクに蘇ってきたのは, シリコンウエハの鏡面品質が著しく向上し, また, 一層の特性向上が必要とされたからである。特に80年代は,

特性向上とウエハ径の大型化が同時に進行し, シリコン材料として全体の見直しが始まった時期である。周知のように超 LSI の容量は1世代約3年ごとに4倍に増加してきた。この中で, 全世界のウエハ供給基地として日本の地位が向上したのは, 世代ごとに生産性や品質を高めるためにウエハの大形化や高品質化を達成したからである。これを支えたのは, 大口径の結晶育成技術と共に, 日本固有の技術である魔鏡技術である。本技術は, 1988年の International Semiconductor Technology 誌の Q/A 賞を受け, 世界に広く貢献が認められている。以来, 伝統古典技術を応用した温故知新の技術として広く知られ, 現在では, Makyoh Technology として専門分野では通用している。

2. 魔鏡投影像変換: 魔鏡トポグラフ

魔鏡の原理としては, いろいろ提案されているが, 特に優れた鏡面をもち微視的欠陥しかない Si ウエハにおいては, わずかな鏡面の凹凸の投影が主因と考えられている。平滑な鏡面といえども, 図1(a)に示すように, ミクロにはさまざまな曲率半径をもった凹凸面が連続して形成されていると仮定できる。凹面鏡の場合を考える

表 1 魔鏡の歴史 芸術と技術

Science and technology		Culture	
BC 1500	Bronze mirror, Sword, Hg plating		
BC 100	Makyoh technology		
		AD 200	Emperorship, Mirror, Sword
			Worship in Japan
			Buddhism
			Shintoism
			Christianity
AD 1877	R.W. Atkinson		
	Re-study, Meiji era		
AD 1880	"Makio"		
	Ohio State University, Students annual		
AD 1933	W.H. Bragg		
	Universe of light		
AD 1963	M. Maryon and C.S. Smith	AD 1965	Reproduction of Makyoh by the Honorable Yamamoto
	Arch. Chinese Art Soc. of America		
AD 1977	S. Kato	AD 1987	Reproduction of the hidden Christian magic mirror
	Application to silicon wafers		
AD 1983	K. Kugimiya	AD 1990	Emperorship, Mirror, Sword, Treasure bead
	Established principle and equipment		

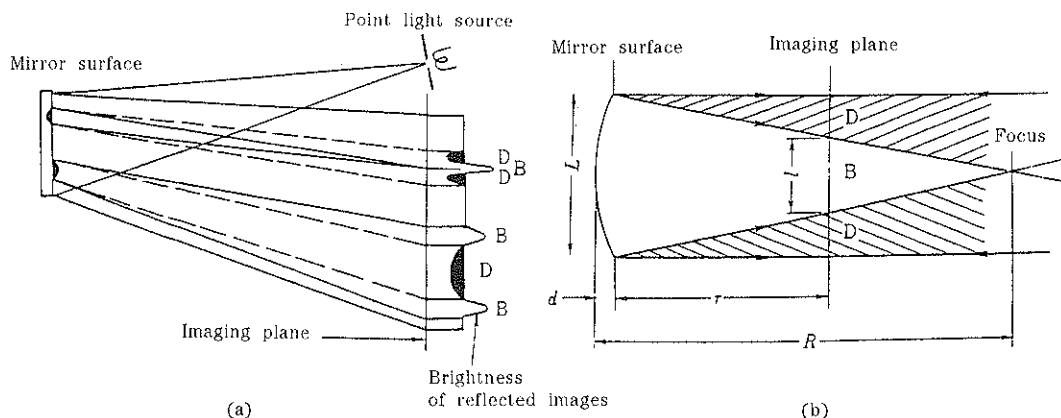


図 1 魔鏡の原理

(a) 基本構成概念図 表面の凹凸は、明暗に変換されてスクリーン上に投影される

(b) 感度の計算説明図 曲率 $2R$ の凹面部により形成される明暗模様（魔鏡トポ像）の基本的な寸法，構成を示す。横(r, R)の長さは縦に比べて約 $1/10,000$ に短縮して示してある

と、投影するスクリーンの近傍では、その焦点が形成され、したがってその近傍が明るくなり、その回りは逆に暗くなる（凸面ではこれが反転する）。このように明暗が隣接し、輪郭が強調されるために、視覚的に認知しやすい反射像（魔鏡トポ像）を得ることができる²⁾。しかも、一般的には微少な評価をすると観察領域はそれに伴って非常に狭くなるのが通常であるが、本魔鏡トポグラフでは微少な、たとえば 5nm の微少な凹凸であって

も、広い（現在10インチ径）ウエハ全面を一括評価できる特徴がある。

魔鏡トポグラフの幾何学的等価光路を図1(b)に示す。次式の関係²⁾から、

$$R = L / (L - l) \cdot r$$

$$d = L / (L - l) / 8 r$$

（ $2R$ は曲率半径， L は幅， l はその投影面上での幅， r は投影面までの距離， d は凹み量）

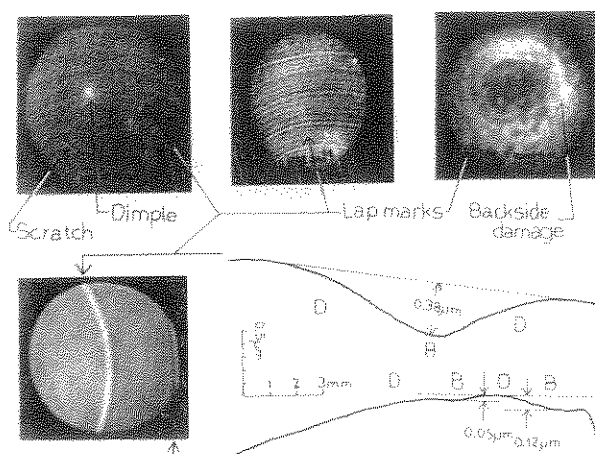


図2 魔鏡トポグラフ基本パターン

感度は x と $p = 2R(=L^2/4d)$ で示され、 L や d に直接依存しないのが大きな特徴である。 p が一定であれば非常に浅い凹凸も観察できる。したがって、本方法では鏡面状態が向上すればするほどにさらに浅い凹凸を検出できるので、特に高品質の鏡面を評価するのに適している。本評価法の傑出した大きな特徴である。図2に示すように、3インチのSiウエハ全面にポリッシングマークが約100本存在する場合では、 $L=0.75\sim 1\text{mm}$ 、 $l=0.38\sim 0.5\text{mm}$ となり、上式より装置設定値 $r=6\text{m}$ を用い $d=6\sim 10\text{nm}$ を得る。非常に浅い凹凸を、しかも、広いSiウエハ全面にわたって一括評価できていることがわかる。なお、この明暗模様は元の凹凸へ逆変換でき、元の表面状態を定性的に推定できる。

同図に示されるように、表面の傷や試料番号などの罫書きは黒く観察され、裏面にある場合には明るく観察される。裏面に入れられたバックサイドダメージは、傷と同様に裏面での張力のために凹部を形成し、雲のような明部となる。同心円状の研磨痕跡やスワール、梨地模様をした魔鏡トポ像、明部として現れる緩やかな凹面であるエクボ、ラッピングマークが高い頻度で観察されている。これらの模様はメーカー固有の特徴となっており、熱処理などでも変化せずウエハの指紋といえる。ICパターンが形成されていてもそれを通して観察される。

光の干渉を利用したモアレ模様による凹凸の測定は古くからあるが、光の波長によって分解能は制約されており、しかも、原理的に急峻な凹凸の検出に向いている。本魔鏡技術のように緩やかな凹凸の検出は非常に困難である。魔鏡のように広い面積にわたって 5nm に及ぶ微小な緩やかな凹凸を可視化する方法はほかにはないのが

現状である。

3. Siウエハの鏡面の高品質化と大口径化

Si半導体は、一般にごく表面部分の $1\mu\text{m}$ 内外が重要な機能部分であり、大部分は単なる基板である。超LSIの代表であるDRAMなどに至っては、表面の特性に直接依存している。したがって、DRAMの特性や歩留まりを直接左右する鏡面の状態は非常に重要な問題である。

魔鏡技術¹⁾は、このようなウエハ鏡面の評価に最適であり、その鏡面品質の向上に著しく貢献した。特に80年代は、特性向上のみならずウエハの径が大型化してゆき、シリコン材料として全体の見直しが始まった時期である。初期はDRAM—16Kbitの時代であり、ウエハ径は3インチにすぎなかった。周知のようにDRAMの容量は約3年ごとに4倍に増加してきた。その生産性や品質を支えるためにウエハ径は世代ごとにほぼ1インチずつ大形化し、同時に一層の高品質化を達成してきた。全世界のウエハ供給基地として日本の地位が向上したのは、大口径の結晶育成技術や切断研磨技術と共に、日本にしかない魔鏡技術があったからといえる。

特許供与に基づきさらに高感度で大口径の魔鏡評価装置が山下電装株式会社（八王子市）で開発され、現在では 40cm の大きさまで対応できるようになっている。次世代のウエハサイズは10インチであり、十分対応できる。このような高感度の魔鏡評価装置によってウエハを観察すると、従来の肉眼などによる検査やその他の検査法では到底観察できずに見逃されていた表面欠陥が多数発見された。大口径化の過程で観察された多様で特異な表面研磨状態の観察例を図3に示す。左第一列の3枚

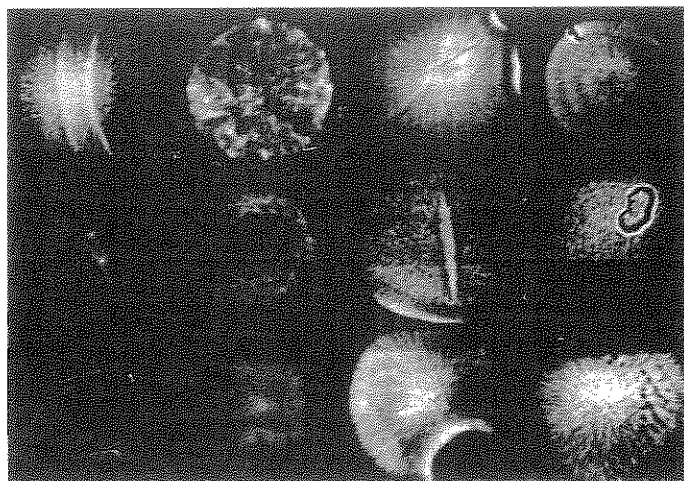


図3 種々の魔鏡トポグラフパターン

のウエハ鏡面には通常の鏡面の特徴である、切断研磨時に生じたラップマークやエクボがある。二列目には各社の異なるバックサイドダメージプロセスの特徴とそのむらが明確に現れている。生じている凹凸はたかだか数nmにすぎない。三列目は酸化熱処理時に生じた熱歪によるウエハの変形を示し、四列目はエピ成長時の不良を示している。エピ成長時の異常の原因は、複雑な要因が関与しているために、現在のところ一部しか判明していない。

以上のように、これらの鏡面上の欠陥は、ウエハ切断研磨熱処理工程などの特定プロセスに起因していることが解明されている。この結果、魔鏡技術はこれらの工程管理・評価を的確に簡単に実施でき、ウエハプロセス管理などを通じてウエハ品質の維持向上に不可欠な技術として広く世界で実施されている³⁾。

現在では、魔鏡技術はさらに先端的な鏡面の評価に適用されている。2枚のウエハを直接張り合わせた次世代のSOI基板の接着状況やエピ成長の評価では、ウエハ全面のスリップを瞬時に検出できることから、熱処理、CVD、エピ装置のドリフトの管理などに威力を発揮し、効果的に使用されている。

さらに、ハードディスク、光磁気ディスクへの応用、液晶ディスプレイなどのガラスの歪み、その異方化処理や塗布むらの評価に有効なことが示され、これらの検査、評価に応用が拡大している。また、他のマイクロな解析法では困難なマクロな結晶評価に大きな効果がある。

4. ま と め

魔鏡技術は、正に「温故知新」の典型的な技術である。他の表面分析法にない特徴（緩やかな鏡面のわずかな凹凸を高感度で、大面積を一括評価できる）を有していることが示され²⁾、評価が困難で多分に現場的であり、技術者の勘の世界であった研磨工程管理に欠かせないものとなっている³⁾。魔鏡技術はこの特徴を活かして、Siウエハの鏡面評価のために誕生し、その大形化と共に発展してきた。世界の他の国にはない日本の固有技術であるがゆえに日本で発展し、日本を超LSIやSiウエハ技術の中心と化し、世界的な供給基地としての躍進を支えた重要技術の一つである。

今後、魔鏡技術は、その特徴を活かしたマクロな鏡面全面評価で特定したミクロな局所微小分析の普遍化に役立つと期待される。さらに、鏡面上の吸着膜や単層膜の評価にも適しており、鏡面や研磨プロセス評価に留まらず、今後の超鏡面の古くて新しい評価方法として期待が広がっている。

文 献

- 1) 釘宮公一：表面科学 **12**(3), 186 (1991).
- 2) K. Kugimiya: J. Electrochem. Soc. **130**, 2123 (1983).
- 3) P. R. Blaustein and S. Hahn: Solid State Technol. **12**, 27 (1989).