

45 nmノードLSIに対応する高速インラインAFM「WA3300」

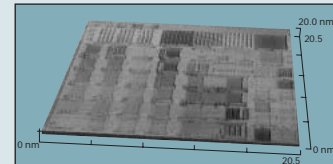
High Throughput In-line AFM "WA3300" Suited for 45-nm Node LSI Manufacturing

樽沼 透 Toru Kurenuma
見坊 行雄 Yukio Kembo

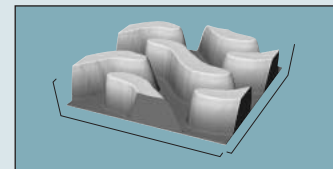
森本 高史 Takafumi Morimoto
渡辺 正浩 Masahiro Watanabe



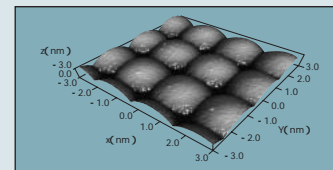
高速インラインAFM「WA3300」



CMP工程評価



エッチング工程評価



マイクロレンズ形状評価

注:略語説明 AFM(Atomic Force Microscope),CMP(Chemical Mechanical Polishing)

図1 45 nmノードLSIに対応する高速インラインAFM「WA3300」と測定アプリケーション

日立建機ファインテック株式会社は、45 nmデバイスに対応するインライン装置として、測定精度とスループットを持った新型AFM「WA3300」を開発した。国内トップシェアを獲得した「CMPのステップフィールドサイズ広域平坦度測定とエッチングの微細形状計測の両立機能」をさらに性能を向上している。マイクロレンズ計測のような応用例も広がっており、また、簡単に誤差の少ない計測ができる日立独自の計測方式もさらに進化させている。

LSIは微細化と多様化が進んでいるが、競争力のあるLSIを実現するには、インラインでの微細構造の計測管理が必須になる。45 nmノード以降のLSIは原子レベルの制御をプロセスに要求している。このため、原子レベルの計測手段であるAFM(原子間力顕微鏡)が不可欠である。しかし、従来のAFMは計測ができて、インライン適用するにはスループットや操作性、精度の面で不満があった。

日立グループは、45 nmノード以降の計測に対応する、スループットと精度を兼ね備えたインラインAFM「WA3300」、および同装置に最適な耐磨耗微細CNT(カーボンナノチューブ)針を開発した。

1.はじめに

微細化と多様化が進むLSIは、設計から製造まで一環した効率追求が必須である。また、短期間に競争力のあるLSIを実現するには、微細構造の計測管理が必須になる。45 nmノード以降のLSIは原子レベルの制御をプロセスに要求している。このため、原子レベルの計測手段であるAFM(Atomic Force Microscope:原子間力顕微鏡)での計測管理が広がりつつある。しかし、従来のAFMは計測ができて、スループット・使いやすさ・精度が十分ではなくインライン適用には不満があった。

日立建機ファインテック株式会社は、大半の国内LSIメーカーにAFMおよびそのサービスを提供しており、そこで培ったニーズへの対応実績をベースに、日立グループの技術力を結集した次世代機「WA3300」を開発した。WA3300は大幅

なスループットの向上に加え、従来のワイド性能・微細性能などの特徴をいっそう強化し、使いやすさや信頼性をさらに向上している。また、新たに耐摩耗性に優れたCNT(Carbon Nanotube) 針を開発したことにより、従来の延長では考えられない微細・高精度データを再現性よく得ることができる。

ここでは、LSI計測ニーズへの今後の展望と、45 nmデバイスに対応するインラインAFM「WA3300」、および原子レベル計測が実現するソリューションについて述べる(図1参照)。

2. 半導体デバイスへの三次元表面構造解析のニーズ

45 nm時代を迎える半導体プロセスにおいて、次の特徴を持つAFMへのニーズがますます高まっている。

(1) 三次元形状をサブnm(ナノメートル)の高分解能で計測できる。

(2) 表面の材質、パターンを選ばず、直接観察が可能である。

特に、段差、平坦(たん)度の計測においては、「微細化対応」と「広域平坦度計測」の二つの要求を同時に満たす唯一の計測装置として、AFMへの期待が大きい。

インラインAFMが適用されている各種半導体プロセスの計測ニーズを表1に示す。

これらのニーズに適用するうえで、まず、エッチング用途向けには、微細化対応性能が重要であり、トレンチ形状の幅より先細く、その深さより長い高アスペクト比探針と、その高精度制御技術が要求される。また、リソグラフィー工程の露光ショットサイズの拡大と焦点深度マージンの減少に伴い、酸化膜CMP(Chemical Mechanical Polishing)後の平坦度計測においては、40 mmレベルの広域で100 nm以下の平坦度の評価ができる技術が要求される。それら微細、高精度かつ広域という、相反する要求に応える計測装置として、日立グループのAFMは半導体デバイスメーカーに広く認知されている。

表1 半導体プロセスにおけるAFM適用ニーズ一覧
主にエッチング後の段差管理およびCMP後の平坦度管理に適用されている。

プロセス	評価ニーズ	要求再現性	評価寸法				
			z	x, y			
基板、 成膜	Si	ラフネス	0.1 nm	~ 0.1 nm	~ 1,000 nm		
	酸化膜						
	各種メタル					~ 10 nm	~ 10,000 nm
エッチング	STI	段差、 三次元形状	1 nm	~ 2,000 nm	45 nm ~		
	ゲート						
	コンタクト、ビア						
	ダマシシ						
CMP	STI	微小段差 広域平坦性	0.5 nm	~ 50 nm	~ 45 nm		
	W-Plug					~ 10 nm	~ 100 nm
	酸化膜					~ 100 nm	~ 40,000,000 nm
	Cu					~ 100 nm	~ 1,000,000 nm
その他	きず、欠陥、異物	形状評価	1 nm	~ 200 nm	~ 10,000 nm		
	マイクロレンズ						

注:略語説明 STI(Shallow Trench Isolation)

3. 45 nmノード対応AFM「WA3300」

3.1 アドバンスステップイン測定方式の開発

インラインに対応した、45 nmノードの計測には、測定精度の向上だけでなく、スループットの向上と、簡便な操作性が求められる。これに対応するために、アドバンスステップイン測定方式を開発した。

アドバンスステップイン測定方法を図2に示す。この測定方式は探針が測定対象から離れ、接触力を感じなくなった瞬間を検知して引き上げを止める。従来のステップイン測定方法では、あらかじめ決めた一定の距離だけ探針を引き上げていたのに比べ、これにより、引き上げ距離を大幅に短くすることができた。引き上げ距離が不足したときには高段差検知制御により、再引き上げを行う。さらに、測定前に不可欠であった回避距離という重要なパラメータの設定も省けるため、簡便な操作性を実現しながら、1点当たりの測定時間を $\frac{1}{4}$ (当社比)に短縮することができた。また、独自に開発した信号処理法を用いて接触力の検知誤差を大幅に低減し、従来の $\frac{1}{10}$ 以下(当社比)の低接触力計測を実現した。その結果、次世代LSIの主流となる加工線幅45 nmの半導体デバイスにおいて、ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors: 国際半導体技術ロードマップ)で要求されている測定再現性0.5 nm(3)を達成(当社比約2倍)し、かつ測定スループット毎時30枚を実現することができた。

3.2 40 × 40(mm)エリアに対応する平坦性評価機能

次世代LSIでは、回路パターンの焼き付けに用いる露光装置の焦点深度が浅くなるために、ウェーハ表面の平坦化工程への要求も、平坦性100 nm以下と厳しくなっており、平坦性の評価にAFMが使われている。今回、露光装置の焼き付け領域の拡大に対応するため、測定範囲を従来の25 mm角から40 mm角に広げた。また、測定中の環境変動に対しては、アドバンスステップインモードによる測定時間の短縮と、高精度な局所温調機構を用意することにより、その影響を大幅に低減している。

3.3 インライン対応機能の拡充

AFMのインライン運用において、探針の交換作業は測定再現精度の面から、またラインの稼働率の面からも交換回数を減らしたいという要求が強い。そこで、日立建機ファインテック、日立協和エンジニアリング株式会社、および日立製作所の3社で、CNTを使用した探針を開発した。開発したCNTの適用結

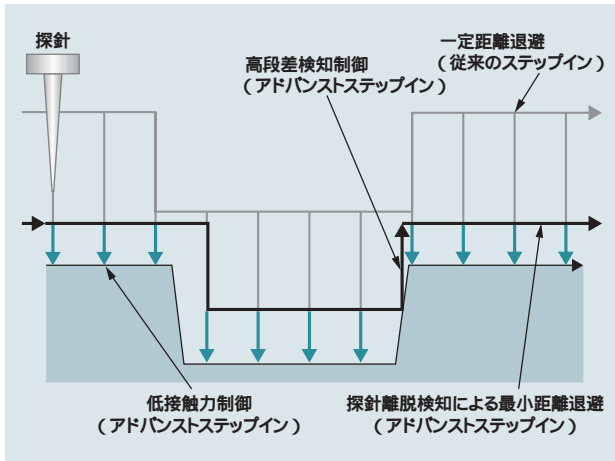


図2 アドバンスステップイン測定方式
測定再現精度0.5 nm(3σ)で、1点当たりの測定時間を $\frac{1}{3}$ (当社比)に短縮した。

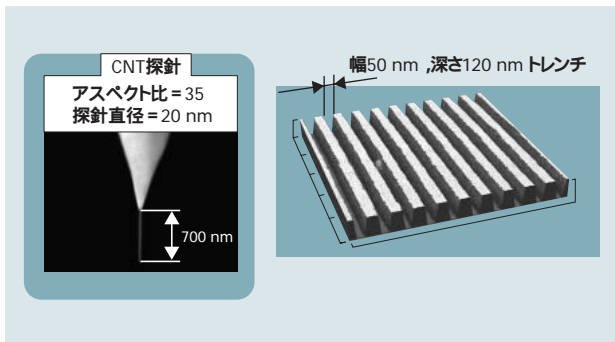
果については後述する。実測定の結果、1,000画面以上の耐久性を持つことがわかった。従来からある、探針の全自動交換機能や、ホスト通信機能と相まって、インライン装置としての機能を充実させた。

4. 半導体プロセス管理へのAFM適用例とその効果

4.1 段差計測ニーズへの適用例

STI(Shallow Trench Isolation)、コンタクト・ビア、ダマシなど、エッチング後の形状計測ニーズは多い。従来は、断面SEM(Scanning Electron Microscope)観察法、もしくは触針式の段差計が用いられてきた。それら従来の観察法に対し、非破壊で微細な三次元の形状を計測できるAFMは、インラインでの計測が可能なツールであり、300 mmウェーハによる45 nmプロセスの時代を迎えるにあたり、その重要性がますます高まっている。また、CMP後の微小段差や広域平坦性の評価にも用いられている。

CNT探針を用いて計測した幅50 nm、深さ120 nmのラインとスペースの観察結果を図3に示す。このとき用いたCNT探針の太さは20 nmである。CNT探針を用いることにより、45 nm



注:略語説明 CNT(Carbon Nanotube)

図3 CNT探針および50 nmトレンチのAFM画像

直径20 nmのCNT探針を用いることにより、45 nm世代はもちろん、その先の32 nm世代への適用も可能である。また耐摩耗性を飛躍的に高めることができた。

STIプロセスフロー概要	評価項目
トレンチ形成 	<ul style="list-style-type: none"> 深さ スロープ角度 エッジ部のR
酸化膜埋め込み 	<ul style="list-style-type: none"> 埋め込み後の平坦性
平坦化 	<ul style="list-style-type: none"> ローカル段差 グローバル段差 Si/SiO₂界面のディポット スクラッチ 残渣(さ)

図4 STIプロセスのフロー概要と計測ニーズ
STI工程には、nmレベルの段差管理精度が要求される。

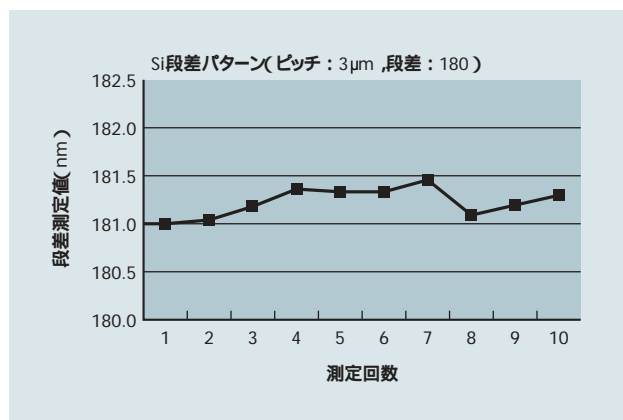


図5 STI平坦化後の段差計測再現性

静的再現性は0.45 nm(3σ)であり、STIプロセス管理に適用可能な精度を有している。

プロセスによるトレンチが計測可能であることが実証されていることを示す一例である。

また、段差計測ニーズの一例として、素子分離工程であるSTIプロセスのフロー概要と、AFMに対する計測ニーズを図4に示す。STI工程は、デバイスへの応力緩和、電気特性の確保といった目的のため、nmレベルの段差管理精度が要求されるシビアなプロセスである。VLSI社の標準段差サンプルを用いて装置の段差再現性を評価した結果を図5に示す。静的再現性は0.45 nm(3σ)であり、STIプロセス管理に適用可能な精度を有していることがわかる。

4.2 酸化膜CMP後の広域平坦度計測

リソグラフィーに用いられる露光ビームの短波長化、レンズの高NA(Numerical Aperture:開口数)化に伴い、DOF(Depth of Focus:焦点深度)マージンはどんどん小さくなっている。また、デジタル家電用に代表される高性能、高機能なLSIへの要求に応える形で登場したSoC(System on a Chip)デバイスでは、微細化もさることながら、メモリ混載などレイアウトの

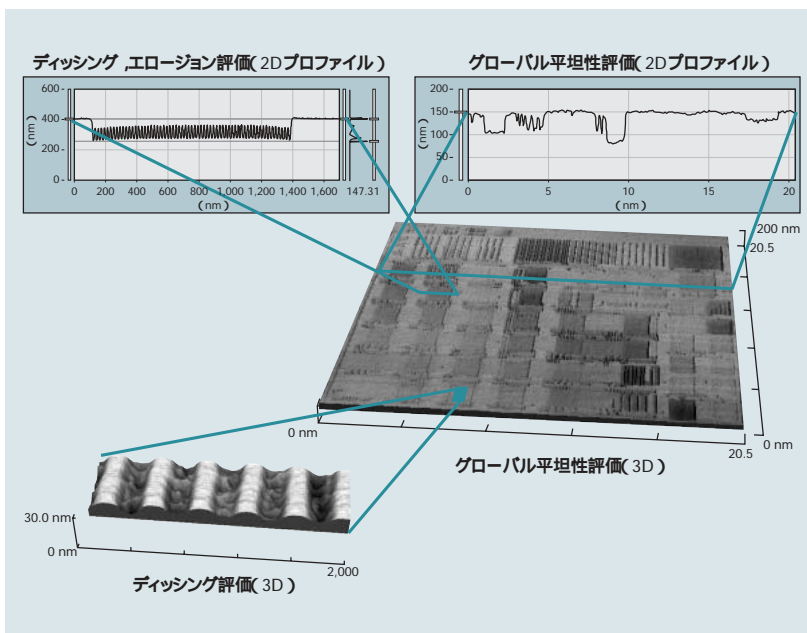


図6 広域平坦性および微小段差の評価例

ワイドエリアAFMによる計測結果の解析により、広域および微細領域の平坦化プロセス評価がnmオーダーで実現可能となった。

複雑さから、層間絶縁膜CMP後の露光領域全面での平坦化が大きな技術課題になっている。ウェーハを破断することなく、最大40×40 (mm) のエリアのAFM画像を取得できる日立グループのAFMは、平坦化プロセスの条件出しに不可欠な装置として、多くのデバイスメーカーに採用されている。特に、多品種・少量生産のために、頻繁なプロセス条件の変更が要求されるSoCデバイスにおいて、プロセスの垂直立上げに大きく貢献している。チップ全面の広域平坦性評価および微小段差の評価例を図6に示す。

執筆者紹介



樽沼 透
1982年日立建機株式会社入社，日立建機ファインテック株式会社 開発製造本部 第二設計部 所属
現在，AFMの開発設計に従事
日本機械学会会員，日本ロボット学会会員



森本 高史
1989年日立建機株式会社入社，日立建機ファインテック株式会社 開発製造本部 第二設計部 所属
現在，AFMの開発設計に従事
応用物理学会会員



見坊 行雄
1975年日立製作所入社，日立建機ファインテック株式会社 開発製造本部 所属
現在，AFMの開発に従事
精密工学会会員，日本機械学会会員
米国SPIE学会会員



渡辺 正浩
1988年日立製作所入社，生産技術研究所 検査システム研究部 所属
現在，半導体検査・計測技術の研究に従事
工学博士
精密工学会会員，米国SPIE学会会員，IEEEコンピュータ学会会員

5. おわりに

ここでは、新しいAFM「WA3300」と、工程を選ばないチップ全面の超高精度平坦度測定などのプロセスのネックに対するソリューション、および、耐摩耗性をけた違いに向上させた新たなCNT針の適用例について述べた。

45 nm以降のLSIの計測は従来の方法だけでは困難である。横方向の微細化限界にあるLSIは今後もさらに進化するが、その一つの方向は、これまで計測がおろそかであった縦方向への進化である。日立建機ファインテック株式会社は、新たなAFM「WA3300」で製造の根幹である計測技術を提供していくことにより、LSIの進歩に寄与していく考えである。

参考文献

- 1) S. Hosaka, et al.: New AFM imaging for observing a high aspect structure, Appl. Surf. Sci. (2002)
- 2) M. Watanabe, et al.: An Advanced AFM Sensor for High-Aspect Ratio Pattern Profile In-line Measurement, Proc. of SPIE: Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography, Mar. 24(2006)
- 3) 馬場, 外: 半導体検査用インラインAFM, LSIテストングシンポジウム/2006予稿集, pp.35-40, (2006.11)