

話題の技術

Non-visual defectを検出する EB-SCOPE技術

ファブソリューション㈱ 山田 恵三氏

1. はじめに

インターナショナルセマテックの調査は、90nmノード以降の半導体デバイス製造不具合原因の大半は、従来から行われてきた表面からの観察手法では検出不可能なプロセス上の不具合(Non-visual defect)になると指摘している。これは、従来のプロセス検査手法に代わる新しい技術の開発が望まれていることを端的に現している。



山田 恵三氏

Non-visual defectは素子構造が絶縁膜の中にあるビア、コンタクトホールで顕著に現れる。

90nmノード以降ビアホールプロセスで不具合を生じやすいとされている本質的な理由は、ビア強度低下にある。ビアプロセスは下層金属配線上に絶縁材料を堆積後、ホール形成する工程であり従来、配線用金属にはアルミ、層間絶縁膜にはシリコン酸化膜が使われてきた。金属アルミは表面に強固なアルミナ酸化物を形成するため、化学的に安定であり、シリコン酸化膜は機械的にも化学的にも非常に丈夫であった。

それに対して、90nmノード以降、配線は銅、絶縁体は有機物を含む低誘電率材料に取って代わった。これら新材料は、従来材料と比較して化学的に活性で機械的強度が劣り、従来可能であった十分なオーバーエッチングや強力洗浄が不可能となった。その裏返しとして、孤立ホールのエッチング不足やビア底残留物、さらには銅酸化による抵抗値増大や信頼性低下を生じるようになった。

コンタクトプロセスは最下層プロセスであり、半導体素子製造密度を決定する。特に大容量メモリでは、メモリ容量増大を実現するためにより高アスペクト比のSAC構造を形成する必要がある。高アスペクト比コンタクトホール形成には、高い選択比を有するエッチング条件が選ばれるため、レイアウトのわずかな誤差や、下地の差によって突然のエッチング停止が起こりやすく、プロセスパラメータの変化に対して弱い。ア

スペクトが高くなる傾向は今後も続き、非常にタイトなプロセス制御を行わないと、容易に不具合が起こるようになった。

最終的なプロセス良否は、最終的に出来上がるデバイスに要求される電気性能によって決定される。最先端デバイスはGHzを超える超高速デバイスであり、デバイスパフォーマンスは回路定数の僅かな変動に対して非常に敏感で、ビア、コンタクトホール底サイズ変動や残留物に伴う抵抗値のばらつきに対する回路許容マージンが非常に狭い。最先端デバイスでは、ウエハー内部、ウエハー間、ロット間など従来以上に真剣にプロセスばらつきを抑える努力をしなければ動作すらしなくなるという状況にある。

2. 最近の話題の技術開発

ファブソリューションでは、EB-SCOPEと呼ばれる、電子ビームを用いた半導体プロセス評価技術を開発している。図1は新開発したEBS3000である。EB-SCOPEはフェムトアンペアオーダーの電子ビーム誘起微少基板電流を利用した技術である。この技術を用いるとホール底残留物のようにnmオーダーの極めて薄い材料の存在を極めて高感度に検出出来る。図2に示したように、物質に電子ビームを照射すると入射電子により物質中に存在する電子が弾かれ、二次電子が生じる。発生する二次電子量は物質に固有であり、物質を識別する信号となる。図2左端は純粋なシリコン基板に電子ビーム照射した場合の散乱現象を示している。(玉突きテーブルの上に一杯玉を敷き詰めておいて、そこを狙って玉突きしている風景を想像していただきたい)。

例えばシリコンは、2個の電子ビーム照射を受けると、1.8個分の二次電子が生じるので、基板には0.2個分の電子の流れが電子ビーム照射方向に生じる。一方、凡そ



図1 EBS3000システム

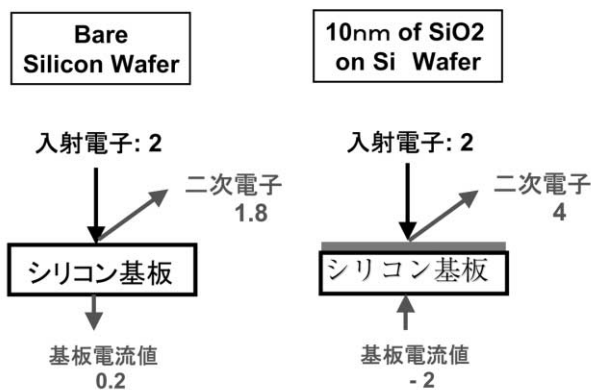


図2 EB-SCOPEの原理

10nmの酸化膜が形成されたシリコン基板では2個の電子ビーム照射により4個の二次電子が生じる。その結果、基板には2個分の電子不足が生じ、それを補うため外部回路から2個分の電子が流れ込む。このように、僅か数nmの酸化膜の存在が基板電流の大きさや方向さえ変えてしまう。これが、EB-SCOPE技術が薄膜検出に極めて優れている理由である。

EB-SCOPE技術の応用

EB-SCOPE技術には大きな3つの応用分野がある。R&Dにおけるプロセス開発、工場における装置間機差の吸収、工場あるいはR&Dラインにおける毎日の装置定常状態の維持である。

プロセス開発応用

図3は、代表的なEB-SCOPE測定結果例である。測定結果は基板電流値の分布として表現され、ホールが均一に出来ていれば平坦な等高線図が得られ、プロセスに分布があればそれに応じて分布が表示される。この例では、左のほうにエッチング不足領域があることがわかる。

プロセスを量産展開するためには、ウエハー内にあるホールは全て均一にエッチングされている必要がある。ウエハー一枚につき数点を断面観察する従来方法では、サンプル数が少なすぎてエッチングプロセスの真の最適化はほとんど困難である。EB-SCOPE技術を用いれば、疎密を問わずエッチング結果を数10分で知ることが可能で、従来以上に精密にプロセス条件を最適化することが可能となる。

装置機差吸収

半導体工場には並行処理ができるように同一装置が多く設置されている。装置には機差があり、同じエッチング装置でかつ同じエッチング条件でプロセスを実施しても同じプロセス結果が得られないことが広く知られている。機差の存在は工場効率を著しく低下させる。機差があると、ある装置では良品が取れるがある

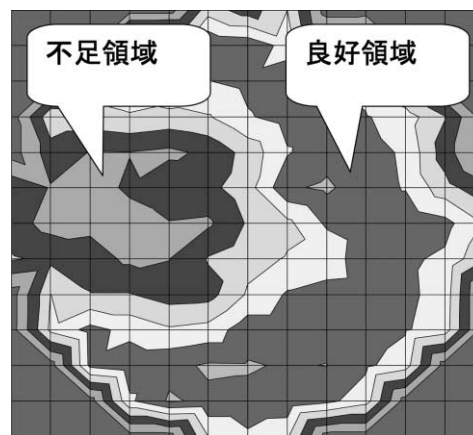


図3 エッチング分布測定例

装置では良品が取れないことが生じ、このような場合、良品の取れる装置のみに品物が供給され、もう1台の装置は休ませる選択が採られる。機差の少ないエッチング条件を上手く見つけだし、工場の実効稼働率を向上させることは、過剰投資抑制や利益増大に直結する。従来のようにウエハーを一々割っていたのでは、微妙な機差を検出することはほとんど期待できないが、EB-SCOPE技術を利用すれば、装置機差を検出可能で、機差吸収対策を迅速に行うことが可能となる。

インラインプロセス管理

エッチング装置は経時変化が大きく頻繁にメンテナンスを必要とする。回路マージンに対するプロセスウインドーはいつも変化しており、エッチングエンジニアは常にマージンチェックが必要である。EB-SCOPE技術を利用すると、インラインでプロセス変動が検出可能なので、プロセスウインドー変動を常時監視できる。プロセス装置と連動させれば、プロセス変動に対して、エッチング時間を長くしたり、ガス流量を動的に適応させることでプロセスウインドーを常に一定に維持することが可能となる。メンテナンスはエッチング装置状態を大きく変える変動要因である。メンテナンス後に装置が正常状態に復帰しているか否かをEB-SCOPE技術を利用すれば定量的に簡単に把握できるので、安心して装置再立ち上げが出来る。EB-SCOPE技術を利用してプロセスをインライン管理することにより、エッチングプロセス管理を定量化し、高いイールド維持が可能になる。

4. おわりに

日本発のEB-SCOPE技術を非常に大雑把に紹介してきた。半導体製造技術が限界に近づく21世紀こそ、真に半導体製造技術の良し悪しが問われる時代になる。新技術の開発を通して、合理的なプロセス開発、管理が容易に出来るように貢献したい。