

# LSIの多層配線における チャージアップ起因のビア高抵抗化現象とその対策

小笠原 裕美      影山 麻樹子  
酒匂 克浩

システムLSIに一般的に用いられるアルミ配線は、4～7層程度の多層になっており、各層をタングステン（W）で埋込んだビアを用いて接続している。デバイスの高集積化に伴い、さまざまな長さ、幅の配線に接続した多数のビアホールが存在し、それらが品質良く機能しなければならない。しかし、フローティングの長配線に接続したビアのような特定のパターンで、ビアが高抵抗になってしまう現象が見られることがあり、プロセス中のチャージが原因と想定される。

多層配線のプロセス検証には、一般的に数万個レベルの大規模ビアチェーンパターンを適用し、故障検出の感度を上げた評価を行っている。しかし、この高抵抗ビアのケースは大規模チェーンパターンでは検出できない。本稿では、高抵抗ビアの原因究明のためテストパターンを提案し、解決方法について検討を行った。

## ビアの構造とプロセス

図1に当社の0.25 μm以降の世代の一般的な多層配線構造の一部を示す。各層の配線構造は上層からTiN/Ti/Al-Cu合金/TiN/Tiという積層構造となっている。下層のTiN/Tiはエレクトロマイグレーション対策やバリアメタルの目的で形成され、上層のTiN/Tiは配線形成のフォトリソの反射防止膜（Anti Reflective Material =ARM）および、ビアホールエッチングの際のストッパー層とし

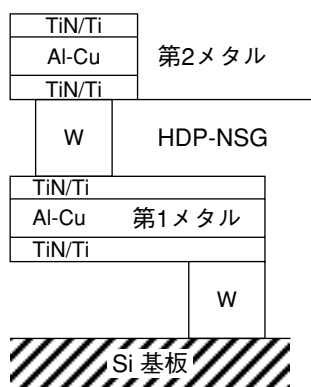


図1 多層配線構造

て形成されている。層間絶縁膜はHigh Density Plasma（HDP）を用いたCVD法で成膜し、Chemical Mechanical Polishing（CMP）法を用いて平坦化する。ここにビアホールを下層配線層のARMのTiNが残るように開孔する。開孔したビアホール底部をRFスパッタエッチングでクリーニングした後、W剥れを防ぐための密着層としてTiNをスパッタ法により形成し、その上にWをCVDによって成膜、ビアを埋込んだ後CMPにより配線部以外のWを除去してプラグを形成する。

## ビア抵抗測定パターン

図2に一般的なビア評価およびこの現象を評価するために考案したテストパターンを示す。パターンAは一般的なビア評価に用いる大規模チェーンパターンでビア個数は500,000個である。一方、パターンBとCが今回チャージアップの影響を調べるために考案したパターンで、ビアは2個だが、第1配線に1mm、100mm、200mmの長い配線を接続している。この長い配線部は測定時に電流が流れないため、通常の場合は抵抗に影響しないが、チャージ評価のためのアンテナとしての機能を持っている。パターンBのアンテナ配線のほうはフローティング、パターンCのほうは配線の端部でコンタクトを介し基板に接続しグランドとしている。また、プロセス設定においてはパターンDも同時に評価する。これは下層配線とビアを0.08 μmずらした（ボーダレス）大規模チェーンパターンである。デバイスの集積度を向上させるためボーダレスパターンが用いられるケースが多いが、このような配線ではビアプラグが配線パターン以外の領域にも位置するため、抵抗が高くなるなどの問題が発生する可能性がある。そのため、プロセス変更を行う際にはボーダレス配線での安定性を確認することが重要になる。以上の4つのテストパターンを使用してビア抵抗の評価を行った。

## テストパターンにおけるビア抵抗評価

図3にパターンA、B、C各々のビア抵抗累積分布を

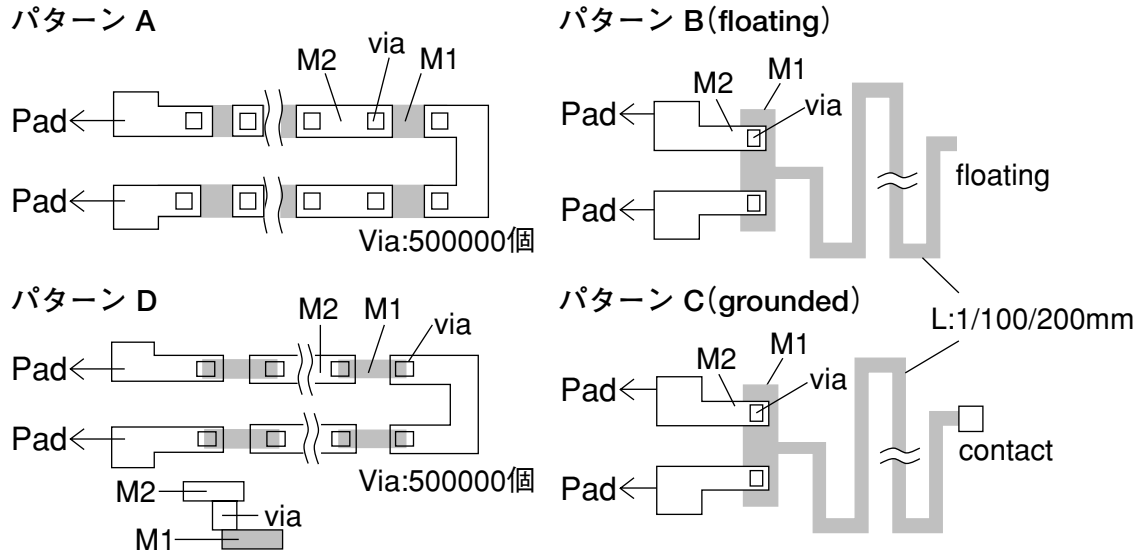


図2 テストパターン構造

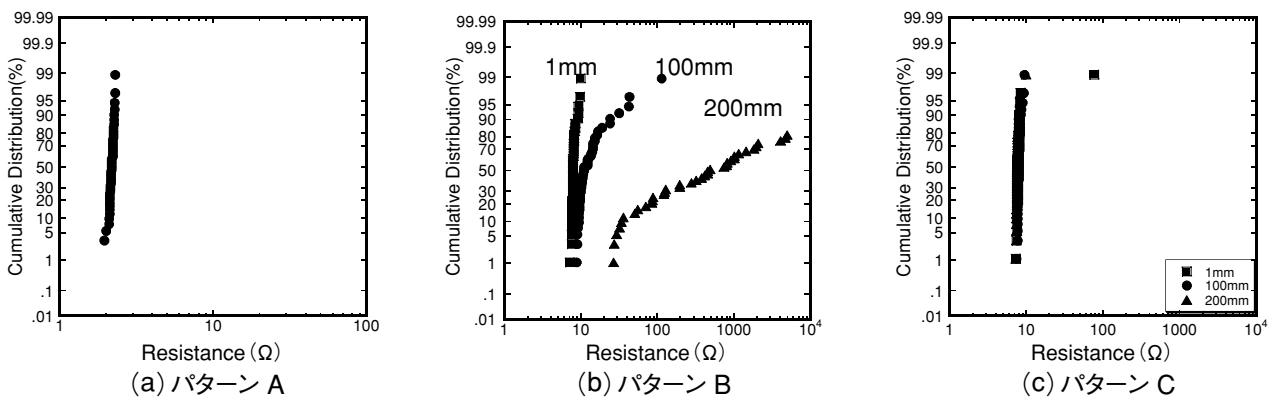
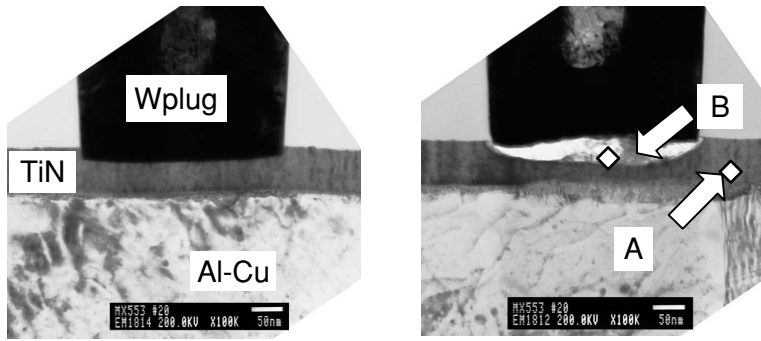


図3 各テストパターンにおけるビア抵抗値の累積分布

示す。これらはウェハ1枚あたり面内23点でウェハ2枚の測定結果である。通常の大規模チェーンパターンAにおいては低抵抗でばらつきも小さく、この結果からは良好なビアホールと判断される。一方フローティング配線を有するパターンBにおいては、配線長が1mmの場合はパターンAと同様な抵抗分布を示すが、配線長が100mmの場合は抵抗値が10~100Ωと増加し、ばらつきが大きい。さらに配線長が200mmと長い場合はより抵抗が高くなり、ばらつきもさらに大きくなっている。ただし、配線を基板に接続したパターンCでは配線長にかかわらず抵抗値が低く良好な分布を示している。つまり、長いフローティング配線が接続されているパターンのみで、高抵抗化現象が顕在化していることがわかる。この要因として、長い配線がプロセス中に何らかの原因でチャージアップし、ビア高抵抗が生じたと考えている。

### 高抵抗ビアの分析

図4に良好な抵抗が得られた基板接続パターンおよび高抵抗となったフローティングパターンのビアの透過型電子顕微鏡 (TEM) 写真を示す。フローティング配線に接続したビアでは密着層TiNと下層メタルのARM-TiNとの間に白い部分が見られ、これが高抵抗の原因になっているものと考えられる。そこで、この白い部分 (図4中Point Bと示す) と通常のTiN (図4中Point Aと示す) のEDX (Energy Dispersive X-Ray) 解析を行った。結果のスペクトルを図5に示す。Point BではTiのピーク高さがPoint Aに比べ3分の1に減少している。またPoint BではOやCのピークが見られるが、Point Aでは見られていない。つまり、白く見える部分はCやOを含み元素の密度の小さいポーラスな層といえる。ポーラス層はフロー



a) 基板接続配線上のビア b) フローティング配線上のビア

図4 ヴィア底部のTEM写真

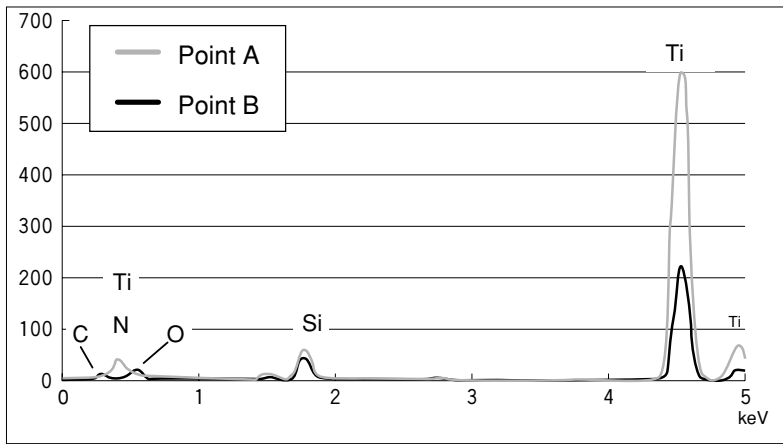


図5 図4中Point A, BのEDXスペクトル

ティング配線上のビア底部にのみ発生しており、配線長が長いほどポーラス層が厚く形成され、ビア抵抗値が高くなることも分かった。

メタルエッチング、アッシング、層間絶縁膜形成などプラズマを使用する工程において、配線部はさまざまなチャージにさらされる。グランド接続パターンではチャージが基板を介して抜けるが、フローティングの配線ではチャージは残存し、チャージアップした状態となる<sup>1) 2)</sup>。この配線にビアを開孔すると、エッチングガスやアッシング工程におけるカーボンや酸素の拡散が通常の配線に比べて促進される。その結果、ビア底部の下層配線ARMのTiNが変質し、ポーラス層が形成されていると推測される。

### 高抵抗ビア対策方法の検討

#### (1) 物理的なクリーニング

ビア底部のポーラス層を除去するために、物理的なクリーニングとしてRFスパッタエッチングを検討した。

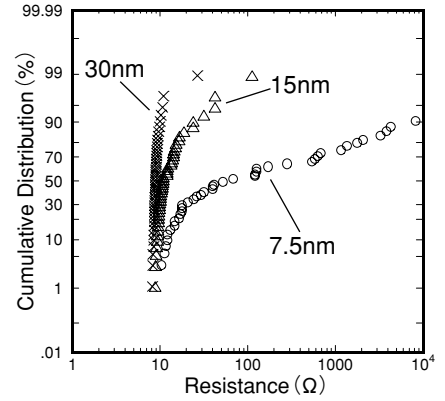


図6 ヴィア抵抗のRFエッチング量依存 (フローティング配線)

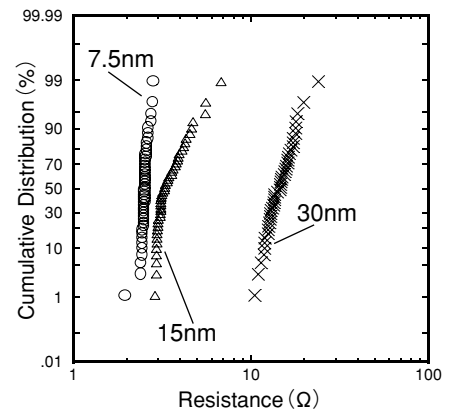


図7 ヴィア抵抗のRFエッチング量依存 (ボーダレスパターン)

通常、密着層TiNをスパッタ形成する前に行うRFスパッタエッチングのエッチング量の最適化を試みた。図6にフローティング構造におけるビア抵抗累積分布のRFエッチング量依存を示す。エッチング量は7.5nm, 15nm, 30nmとし、7.5nmは単周波(60MHz)だが、15nm以上の条件では、効果を高めるためエッチングの指向性が高い2周波(60MHz+400kHz)の条件を用いた。エッチング量が多いほど高抵抗ビアは少なくなっており、30nmのエッチングで、ほぼ完全にポーラス層が除去できたと考えられる。

しかし、エッチング量の増加は別のパターンで問題を引き起こすことが判明した。図7にパターンDにおけるビア抵抗累積分布を示す。これは下層配線に対しビアを0.08μmずらして配置しているボーダレスパターンである。このパターンではエッチング量が多いほど抵抗値が増加している。フローティング配線に効果があったエッチング量30nmでは、ボーダレスパターンの抵抗はエッチング量7.5nmの時の10倍になっている。エッチング量を

増加すると抵抗が上昇するこの現象は、通常のビアチェーンでは見られていない。これは、ビアのオーバーエッチング時に下層Alの側壁がガスにさらされてできた生成物が、スパッタエッチング時にビア底部に再付着するためと考えている。

RFエッチング量の増加は、フローティング配線の問題には効果があっても、ボードレスパターンで抵抗増加が起きてしまい、ビア高抵抗問題の最適な解決策とはならないことが分かった。

## (2) 化学的なクリーニング

物理的なクリーニングでは解決しなかったため、化学的なクリーニングを検討した。チャージアップが原因となっていることから、プラズマを用いる通常のエッチングではなく、熱分解できるようなクリーニングプロセスが望ましい。そのため、ここでは、W-CVD工程の原料ガスであるWF6ガスを用いたケミカルエッチングを試みた。

W-CVDではWF6をSiH4またはH2によって還元して、Wを成膜する。還元ガスを添加しなければ、Wは成膜されないため、WF6によるケミカルなエッチングが可能になる。ビアホール開孔後の試料をW-CVD装置に導入、460℃で15秒間WF6ガスをフローしたのち、通常のビアプロセスを実施した。このときの、パターンBのビア抵抗分布を図8に示す。高抵抗が顕著であった200mmフローティングパターンでもビアの抵抗値、抵抗分布とも大幅な改善が見られている。現状では完全にポーラス層を除去するには至っていないが、最適化により十分な効果が期待できる。この方法では、ボードレス配線を想定したパターンDにおいても抵抗上昇は見られず、ケミカルなクリーニングを用いたために、再付着等の問題が起こらなかったことが分かった。

また、ここで示した結果では密着層TiN形成前にクリー

ニングを行っているが、密着層形成後であっても、密着層の膜厚をごく薄くしてクリーニングの効果を高めること、およびW-CVD時に通常はSiH4ガスを先に導入するところを、WF6ガスを先に導入、しばらくWF6のフローを行うことにより、プロセス改善が可能であることがわかった。この方法を用いれば、W-CVDの際にIn-situでクリーニングを行うことで、工程増加なしにクリーニングを導入することが可能になる。

## あ と が き

プロセスにおけるチャージアップによるビア高抵抗化の問題を解明した。この問題は一般的な大規模ビアチェーンパターンでは検出できない。この問題を高感度に検出できる方法を考案し、現象を解明した。ビア高抵抗化はフローティング配線に接続したビア底部にポーラス層が形成されることによって生じることが分かった。フローティング配線におけるチャージアップがポーラス層の形成を引き起こしていると考えられる。

RFスパッタエッチング量を増やし、ポーラス層を除去することで高抵抗の改善には効果があるが、この方法ではボードレスパターンで問題が生じる。WF6ガスを使ったクリーニングは高抵抗ビアに効果的であり、種々のパターンで有効であることが分かった。

多層配線のビアプロセスの問題を高感度に抽出するためにはフローティング配線やボードレスパターン等を用いた評価が有効であることが分かった。今後は以上のようなパターンでの評価を取入れていく。また今回の実験では、高抵抗ビア現象を感度良く捉えるため100mm以上の長い配線で評価した。その結果、高抵抗ビアを再現性良く確認することができた。今後のデバイス設計においてこのような大面積のフローティング配線パターンに関する設計基準を設けるなどの対策を行う。 ◆◆

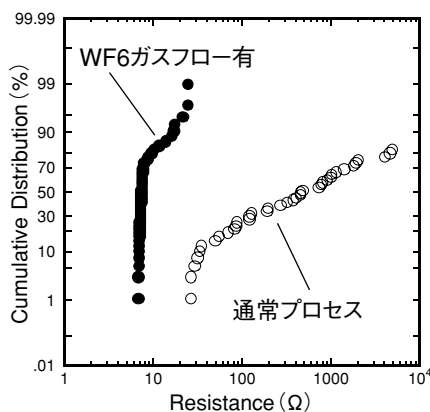


図8 WF6ガスによるクリーニングの効果

## 参考文献

- 1) K.Hashimoto *et al.* Proc.1993 Dry Process Symposium Conf.34
- 2) Y.Jin *et al.* Proc.2002 IEEE Int. Reliability Physics Symposium Conf.359, 2002

## 筆者紹介

小笠原裕美：Hiromi Ogasawara.宮城沖電気株式会社 開発部 プロセス開発3チーム  
影山麻樹子：Makiko Kageyama.シリコンソリューションカンパニー 研究本部 新技術研究開発部 DDCチーム  
酒匂克浩：Katsuhiko Sako.宮崎沖電気株式会社 M2Fabプロセス技術チーム