

講義

SIMS によるデルタドーブ層の評価

高野明雄¹、本間芳和²

¹NTTアドバンステクノロジー(株) 〒243-0124 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1 NTT R&D 内

²NTT 物性科学基礎研究所 〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

(2002年 6月 4日受理)

次世代半導体集積回路素子開発の鍵となる極浅ドーブ層の高精度評価法の標準化を目指して、深さと分解能の指標となるデルタ多層膜標準物質を開発し、高分解能深さ方向分析技術・定量分析技術を立ち上げようとしている。ここでは、開発中のデルタドーブ多層膜試料について、ラウンドロビンを試行し、深さ分解能評価方法の妥当性について検討したので報告する。

Evaluation of delta-doped layers using SIMS

Akio Takano¹, Yoshikazu Homma²

NTT Advanced Technology 3-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa Pref. 243-0124¹

NTT 3-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa Pref. 243-0198²

(Received: May 4, 2002)

Multi-delta-doped reference materials for evaluation of the depth scale and resolution are under developed to standardize ultra-shallow depth profiling by secondary ion mass spectrometry. We carried out a round-robin test using the reference materials, and investigated the validity of the evaluation method of the depth resolution.

はじめに

近年、LSIの微細化に伴い、SIMS測定により測定するドーブ層は益々浅くなってきている。しかしながら、SIMSでは、極浅領域においてスパッタ速度及び感度がバルク中とは異なるため、ここでの深さ方向分布を正確に評価することは難しく、極浅領域での高精度評価法の標準化が望まれている。平成12年度より、極浅ドーブ層の高精度評価法の標準化を目指し、深さと分解能の指標となるデルタ多層膜標準物質の開発と、高分解能深さ方向分析技術を立ち上げるためのプロジェクトが進行しており、昨年度は開発中の極浅領域用標準物質のラウンドロビン分析(RRT)が行われた。ここでは、ミキシング・ラフネス・インフォメーション深さの3つのパラメータによって深さ分解能を評価するMRI法〔1〕によって、RRTデータを解析し、この評価方法の妥当性の検討を行う。

実験

RRTに用いた試料は、Si/BN/Si/BN/…/Si/BN/Si/Si基板である。膜はマグネトロンスパッタリング法により堆積し、BN層の厚さは0.002 nm

相当、Si層の厚さは18 nmまたは9 nmの2種類である。BN層数をn、Si層数をn+1とすると、Si層厚18 nm試料(以下18 nm試料)ではn=5、Si層厚9 nm試料(以下試料9 nm試料)ではn=10である。マグネトロンスパッタリング法は、膜厚制御性が良く、大面積に均一に成膜可能で、材料の選択範囲が広いなどの特徴を持っている。また、デルタ層としてBNを用いているのは、SIMS分析のマトリックス効果を抑制できるからである。

SIMS分析は、一次イオンとしてO₂⁺を用い、エネルギーと入射角を可能な限り統一して行った。各測定条件の詳細をTable 1に示す。測定したボロンプロファイルについてMRI法を用いてフィッティングを行い、ミキシングパラメータ及びラフネスパラメータを求めた。なお、SIMS分析では情報深さは十分に小さいため、今回の解析ではこれを無視する。また、フィッティングに際し、18 nm試料では第1Bピークと第5Bピークの間隔を72 nmに、9 nm試料では第1Bピークと第10Bピークの間隔を81 nmに固定し、解析のステップは0.1 nmで行った。

RRTには、アルバック・ファイ、NTTアドバンステクノロジー、コベルコ科研、新日鐵、東芝、東レ

Table 1 SIMS measurement conditions

Laboratory	Energy	Incident angle	Rastered area	Gated are	Apparatus
Lab 1	2 keV	45 deg	400 μm	9 %	PHI ADEPT1010
Lab 2	2 keV	45 deg	300 μm	25 %	Atomika SIMS 4000
Lab 3-1	2 keV	45 deg	400 μm	16 %	PHI ADEPT1010
Lab 3-2	2 keV	45 deg	180 μm	60 μmφ	Cameka IMS-6f
Lab 3-3	2 keV	60 deg	180 μm	60 μmφ	Cameka IMS-6f
Lab 4	2 keV	63 deg	180 μm	60 μmφ	Cameka IMS-5f
Lab 5-1	2 keV	45 deg	300 μm	25 %	Atomika SIMS 4500
Lab 5-2	500 eV	0 deg	300 μm	25 %	Atomika SIMS 4500
Lab 6	2 keV	45 deg	400 μm	4 %	Atomika SIMS 4000
Lab 7	2 keV	60 deg	300 μm	9 %	PHI 6650

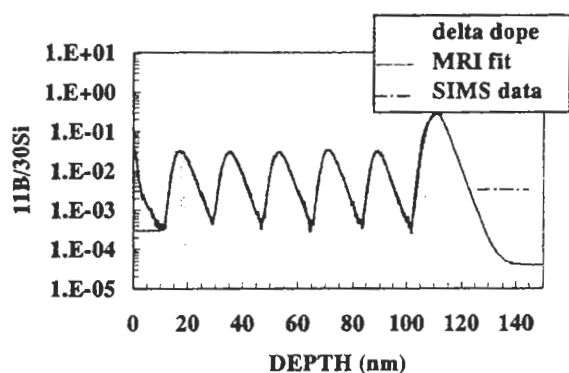


Figure 1 Comparison of SIMS raw data and MRI fit for 18 nm sample.

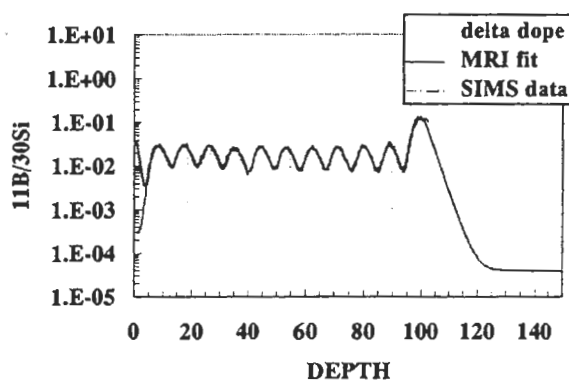


Figure 2 Comparison of SIMS raw data and MRI fit for 9 nm sample

Table 2 Parameters of the delta layers used for MRI calculation

Delta layer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Thickness (nm)	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5					
	Peak intensity	0.17	0.20	0.25	0.29	0.30					
B	Thickness (nm)	1.0	0.9	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5
	Peak intensity	0.15	0.17	0.21	0.15	0.20	0.18	0.18	0.25	0.25	0.27

Table 3 Parameters of depth resolution

Laboratory	Energy	Incident angle	18 nm sample		9 nm sample	
	2 keV		45 deg	Mixing	Roughness	Mixing
Lab 1	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.8 nm	2.3 nm	1.8 nm
Lab 2	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.7 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 3-1	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.6 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 3-2	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.6 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 3-3	2 keV	60 deg	2.3 nm	1.6 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 4	2 keV	63 deg	2.3 nm	1.6 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 5-1	2 keV	45 deg	2.6 nm	1.4 nm	2.8 nm	1.5 nm
Lab 5-2	500 eV	0 deg	0.8 nm	1.1 nm	0.8 nm	1.1 nm
Lab 6	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.6 nm	2.3 nm	1.6 nm
Lab 7	2 keV	45 deg	2.3 nm	1.8 nm	2.3 nm	1.6 nm

リサーチセンター、松下テクノロジーの7機関が参加した。

結果・考察

ミキシング及びラフネスの2パラメータを用いた Lab 6 の MRI フィッティングの結果を、18 nm 試料、9 nm 試料それぞれについて Fig. 1、Fig. 2 に示す。また、このフィッティングに用いたデルタ層厚とピーク高さを Table 2 に示す。唯一のミキシング及びラフネスパラメータの組み合わせで膜全体に渡って良好なフィッティングが得られた。表面側でデルタ層厚を増加させる必要があったのは、膜のうねりが積層とともに増加しているためと考えられる。ラフネスパラメータを増加させるだけではプロファイルの立ち上がり部分を合わせられなかった。モデルの問題か試料の問題か、今後検討を要する点である。

もう一つの問題点はダイナミックレンジの小さいプロファイルの解析である。今回用いた簡易 MRI 法では、まず、デルタ層プロファイルのトレイリングエッジのフィッティングからミキシングパラメータを求め、次いでプロファイル全体をフィッティングするようにラフネスパラメータを決定している。デルタ層間隔が短くなると、トレイリングエッジに次のデルタ層のリーディングエッジが重なってしまうため、この手法ではミキシングパラメータを過大評価してしまうことになる。これを回避するため、再度ミキシングパラメータとラフネスパラメータの最適化を行い、この操作をフィッティングが行われるまで繰り返した。

以上の問題点を踏まえた上で、ラウンドロビン試験結果の解析を行う。Table 3 は各機関のプロファイルから求めたパラメータの一覧表である。比較のため、Lab 5 の 500 eV のデータも一緒に示した。

一次イオンエネルギー2 keV の測定結果では、ミキシングパラメータ及びラフネスパラメータとも機関間で非常によい一致を示した。また 500 eV での分解能の向上が明確にパラメータに反映されているので、2 keV でのパラメータが計算上同じ値に収束したわけではない。さらに、18 nm 試料と 9 nm 試料のパラメータが一致したことは、9 nm 試料のプロファイルのようにピークと谷の強度比が3倍程度の場合でも、本解析法が有効であることを示している。ただし、現段階では、フィッティングの良し悪しの判断は目視で人間が判断しているのと、ラフネスパラメータの精度を2桁に制限しているので、プロファイルの詳細な違いがフィッティングに反映されない恐れがある。今後、解析の自動化が望まれる。

まとめ

開発した BN デルタ多層膜を用い、極薄領域の SIMS 深さ方向分析に関するラウンドロビン試験を実施した結果、以下の結論を得た。

周期 18 nm 及び 9 nm のプロファイルから、2パ

ラメータ MRI 法を用いて深さの分解能パラメータ（ミキシング深さとラフネス）を評価した結果、同一エネルギーで測定した7機関9種のデータはよく一致した。したがって、本方法による分解能パラメータの信頼性は高いと言える。

一方、短周期デルタ多層膜を標準物質として使う上では、低ダイナミックレンジにおける適用限界の把握、フィッティングの自動化などを課題とすることが明らかとなった。

謝辞

ラウンドロビン分析は、大阪科学技術センター付属ニューマテリアルセンターによる半導体の深さ方解析法検討調査委員会のもと行われた。

- [1] S. Hofmann, Surf. Interface Anal. 21 (1994) 673.