

ナノチューブ配線低抵抗化に向けたナノチューブビア構造の最適化

近藤 大雄, 二瓶 瑞久, 百島 孝, 川端 章夫, 佐藤 信太郎, 野末 竜弘, *栗野 祐二

MIRAI-Selete

はじめに

現在、LSI の金属配線材料として銅が用いられているが、線幅の微細化によって多くの課題が顕在化してきている。中でも特に問題となっていることとして、エレクトロマイグレーションによる信頼性劣化、電気抵抗の増大、歩留まりの低下、機械的強度の低下などが挙げられる。これらの課題解決のために、銅に代わる次世代配線材料としてカーボンナノチューブ(CNT)が注目されている。CNTは従来用いられている銅と比較し、1000倍高い許容電流密度を有するだけでなく、弾道電子輸送特性、高熱伝導性、高アスペクト比など優れた性質を有することが知られている。我々は 22nm 世代(hp32nm)への CNT 配線適用を目指し、LSI 配線の許容プロセス温度に整合する CNT 低温成長技術、及び従来のシリコンラインへのインテグレーション可能なプロセス技術の開発を行っている。

これまで、我々は LSI 許容プロセス温度(400)以下の低温成長技術を開発し、シリコンプロセスと親和性の高い CNT 配線内への絶縁膜埋め込み及び化学機械研磨(CMP)による平坦化を CNT 配線に適用することで(図 1)、タングステンプラグに匹敵する低抵抗 CNT 配線を実現することに成功した[1]。しかし、銅配線と比較すると CNT 配線は未だ一桁高い抵抗値であるため、低抵抗化に繋がる CNT 密度の向上や CMP プロセスの最適化といったビア作製プロセスの改善が必要となる。本課題では、CMP プロセスの最適化を目的に、異なる CMP 条件で平坦化した絶縁膜(SOG)埋め込み CNT 配線と上部電極の界面電子状態を硬 X 線光電子分光により分析することで、CNT ビア配線の低抵抗化に向けた指針を得ることを目指す。

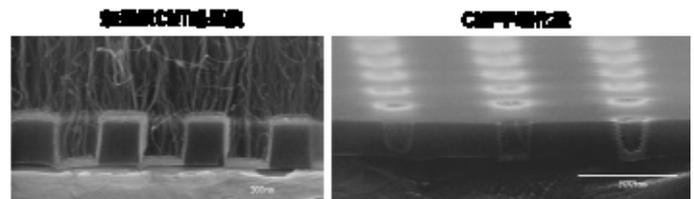


図 1 CVD 成長した CNT 配線、及び CNT 配線を CMP 後に観察した走査電子顕微鏡像。

実験

硬 X 線光電子分光は SPring-8 の BL47XU において行った。用いた光のエネルギーは 8keV、分光器には SES R-4000 を用いた。多層 CNT は熱 CVD 法により成長し、触媒として平均直径 3.8nm(幾何標準偏差 1.2)にサイズを揃えたコバルト(Co)微粒子、根元電極金属として 5nm の TiN 薄膜を用いた[2]。CNT の CVD 成長にはアセチレン・アルゴンの混合ガスを用い、成長温度 400 において、多層 CNT が TiN 薄膜上の Co 微粒子から成長することを確認した。CVD 成長後、上部電極作製プロセスとして、SOG の CNT 束内への埋め込み、引き続き化学機械研磨(CMP)を行った。上部電極を化学処理後、上部電極として TiN 及び Ti 薄膜をスパッタにより堆積した。

実験結果

図 2 は Ti 2p 内殻準位光電子スペクトルである。図には、(a)CVD により TiN5nm 薄膜、Co 微粒子/TiN5nm から成長した CNT 束について CMP を行った試料、(b)CMP を行った CNT 束上に上部電極を積層した試料、(c)同じ上部電極を構成する金属薄膜を Si 基板上に積層した試料を示す。図のように、CMP 後に TiN/Ti 薄膜

の堆積を行った試料では、Ti ならびに TiN 由来の光電子ピークを観測した。CMP 後のスペクトルでは、Ti 由来の光電子ピークを観測しなかったこと、さらに光電子の平均自由行程を考慮して、観測したピークは根元電極ではなく上部電極部分に堆積した Ti 薄膜由来であると同定した。さらに、Si 基板上に同様の薄膜を堆積した試料においても同様の Ti 及び TiN 由来の光電子ピークを観測した。前回の課題(2007A1912)で CMP を行っていない CNT 束に Ti を堆積した場合、Ti が CNT をコーティングすることにより積層されず酸化が進行し TiO₂ 由来のピークのみを観測したことを報告した。これに対し、今回の結果は SOG による CNT 束内の埋め込みと CMP により、CNT 束上部が平坦化され薄膜の積層構造が実現できたことを示唆する。また、この積層構造により Ti/TiN の酸化が抑制された可能性が高いと考えられる。以上のように、絶縁膜埋め込み CNT 配線は CMP により平坦化することにより、積層した上部電極が酸化することなく接触層を形成していることが明らかとなった。

まとめ

CNT ピア配線における CMP プロセス最適化を目的に、CMP を行った CNT 束上に Ti/TiN から成る上部電極を堆積し作製した試料について、硬 X 線光電子分光により分析を行った。実験結果から、SOG の埋め込みと CMP による平坦化により、従来は酸化の進行を妨げることが困難であった上部電極部の接触層が実現できたことが示唆された。一方で、界面部分の酸化の進行は完全には抑止できておらず、銅配線に匹敵する抵抗値とするためには、今後上部電極材料や下部電極材料の最適化を行いビア作製プロセスをさらに改善する必要がある。

謝辞

本研究は、NEDO より Selete に委託された MIRAI プロジェクトの一環として実施された。

関連論文

- [1] M. Nihei *et al.*, IITC2007.
- [2] S. Sato *et al.*, IITC2006.

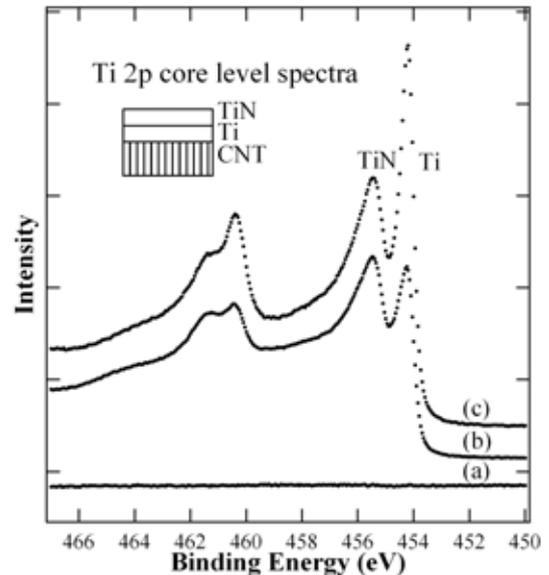


図 2 Ti 2p 内殻準位光電子スペクトル

(a) CNT 束に CMP を行った試料、(b) CMP 後に Ti/TiN を堆積した試料、(c) Si 基板上に Ti/TiN を堆積した試料。