

## LSI 配線応用に向けたカーボンナノチューブビアと上部電極接合界面の 電子状態の研究

近藤 大雄<sup>1,2</sup>, 二瓶 瑞久<sup>1,2</sup>, 川端 章夫<sup>1,2</sup>, 佐藤 信太郎<sup>1,2</sup>, \*栗野 祐二<sup>1,2</sup>

(株)富士通研究所 ナノテクノロジー研究センター<sup>1</sup>, 富士通(株)<sup>2</sup>

### はじめに

現在 LSI に広く用いられている Cu 配線は、エレクトロマイグレーションによる信頼性劣化のため、2010 年以降、ロードマップ(ITRS)トレンドを満たすことが難しくなることが予測されている。そこで配線抵抗を増やさず、電流密度耐性のトレンドを満たせる材料として、カーボンナノチューブ(CNT)が注目されている。我々は CNT を次世代のビア配線材料候補と位置づけ、化学気相成長法(CVD)による基板上からの CNT 低温成長技術、及び CNT への低抵抗コンタクト接合形成技術の開発を行っている。これまで、CNT の根元金属電極として Ti 系(TiC、TiN)材料を採用することで、タングステン(W)に匹敵する低抵抗ビアの実現に成功している[1]。しかし、Cu に比肩するにはさらに抵抗を下げる必要がある。そこで、我々が着目したのは CNT と上部電極の接合部分の最適化である。CNT 成長プロセスを通すことで低抵抗接合界面が形成される根元電極とは異なり、図 1 に示すように金属薄膜で構成された上部電極と CNT との接合部には接触抵抗が介在する可能性が高い。本課題では、上部電極作製の際に付加的なプロセスを新たに導入し、上部電極と CNT 配線の接合界面の電子状態を硬 X 線光電子分光を用い分析することで、低抵抗化実現に向けた接合界面設計における最適化の指針を得ることを目的とする。

### 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、光電子分析器には SES R-4000 を用いた。また、光電子の出射角は基板表面垂直方向から 10 度である。多層 CNT は CVD 法により成長し、触媒として平均直径 3.8nm(幾何標準

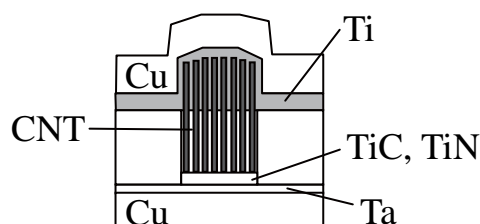


図 1 CNT 配線ビア根元及び上部電極構造

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。CNT の CVD 成長にはアセチレン・アルゴンの混合ガスを用い、成長温度は 510°Cとし、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。上部電極作製プロセスにおいて、Ti 薄膜堆積後の加熱プロセスを新たに導入し、根元電極と同様に上部電極においても低抵抗接合部として TiC を作製することを試みた。CNT 配線の直上に堆積した Ti 薄膜の膜厚は 10nm 及び 50nm、加熱温度は 450°C(10min)で真空中において行った。

### 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、(b)CNT 上に Ti を 10nm 堆積後 450°C で加熱を行った試料、(c)同じく Ti 50nm 堆積後加熱を行った試料を示す。図 2 に示すように、CNT 成長後のスペクトルでは、Ti 由来の光電子ピークは観測されなかった。10nm の Ti 薄膜堆積後に加熱を行った試料では、TiO<sub>2</sub> 由来の光電子ピークのみを観測した。Ti を CNT 上に堆積していない試料では同様のピークが観測されなかったことから、これは根元電極ではなく上部電極部分に堆積した Ti 由来であることがわかった。また、50nm の

Ti 薄膜堆積後加熱を行った試料においても同様に TiO<sub>2</sub> 由来のピークを観測し、そのピーク強度は Ti 膜厚に応じて大きくなっていることがわかった。一方、何れの膜厚の場合においても、低束縛エネルギー側に位置する TiC 由来のピークを見出すことはできなかった。Ti 薄膜を 50nm 堆積後加熱を行った試料の C 1s 内殻準位光電子スペクトルを挿入図に示す。図のように CNT 由来の光電子ピークを確認できるものの、Ti 2p 内殻準位の結果と同様に TiC 由来のピークについては観測することができなかった。これらの結果から、CNT 上に Ti 薄膜を堆積後加熱を行うプロセスでは、TiO<sub>2</sub> が形成されるため根元電極と同様の低抵抗接合界面の作製は難しいことが明らかとなった。走査電子顕微鏡で測定に用いた試料を観察すると、Ti の CNT 配線間への進入により各 CNT の先端部分がコーティングされた構造をとることがわかった。このような構造では平坦な基板に堆積した場合よりも薄い膜厚となるため、CNT 配線プロセス中に Ti 薄膜の酸化が容易に進行し TiC が形成されない可能性を示唆している。今後は、絶縁膜の CNT 配線間への埋め込みと CMP による平坦化により、Ti 膜厚の確保と Ti 酸化の進行の防止を同時に行い、上部電極部分の低抵抗化を目指す。

### まとめ

以上のように、硬 X 線光電子分光の実験結果の解析から、Co 微粒子/TiN5nm から成長した CNT の試料において、上部電極の低抵抗化を目的に新たに導入した加熱プロセスでは Ti 薄膜の酸化の進行により、十分な接合界面が作製できないことが明らかとなった。Ti 薄膜の酸化の防止には、CNT 配線内部へ Ti の侵入を防止することが重要であり、今後は絶縁膜の CNT 配線間への埋め込みと CMP による平坦化に今回行った加熱プロセスを加え上部電極部分の低抵抗化実現を目指す。

### 関連論文

- [1] M. Nihei *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) 1856.
- [2] S. Sato *et al.*, IITC2006.

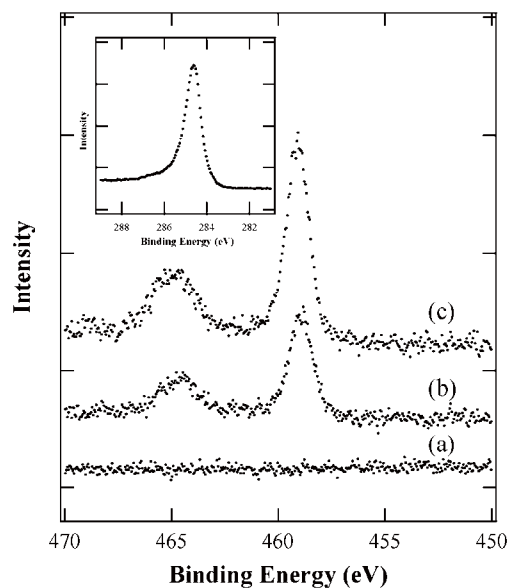


図2 Ti 2p 内殻準位光電子スペクトル  
 (a) Co 微粒子/TiN から CNT 成長後、(b) CNT 上に Ti10nm 堆積後 450°C で加熱、(c) Ti50nm 堆積後 450°C で加熱。