

一般セッション(ポスター講演) | 13 半導体：13.5 デバイス／配線／集積化技術

📅 2025年3月15日(土) 16:00 ~ 18:00 📍 P10 (森戸記念体育館)

[15p-P10-1~4] 13.5 デバイス／配線／集積化技術

[15p-P10-1]

【講演欠席】 Cryo-CMOS向け超伝導Nb膜の酸化機構の解析

○小川 瑞月¹、林 凌佑¹、押尾 世文¹、安達 和喜¹、田中 貴久¹、多田 宗弘¹ (1.慶大理工)

[15p-P10-2]

次世代配線材料としてのRu薄膜の特性評価と密着性改善

○(B)林 凌佑¹、小川 瑞月¹、押尾 世文¹、安達 和喜¹、田中 貴久¹、多田 宗弘¹ (1.慶大理工)

[15p-P10-3]

無電解めっきによるCoMn拡散バリア膜形成の検討

○新宮原 正三¹、石井 優子¹、濱村 尚伸¹、清水 智弘¹、伊藤 健¹ (1.関西大システム理工)

[15p-P10-4]

ヨウ化銅 (I) を原料とするCVD法によるビアホールを選択埋め込み

○難波 拓生¹、宮本 裕¹、山内 智¹ (1.茨城大工)

Cryo-CMOS 向け超伝導 Nb 膜の酸化機構の解析

Analysis of superconducting niobium thin films for Cryo-CMOS

慶大理工 ○小川 瑞月, 林 凌佑, 押尾 成文, 安達 和喜, 田中貴久, 多田 宗弘

Keio Univ., Mizuki Ogawa, Ryosuke Hayashi, Seibun Oshio, Kazuki Adachi, Takahisa Tanaka, Munehiro Tada

E-mail: ogawa@tada.sd.keio.ac.jp

量子コンピュータの実現に向けて超伝導量子ビットの制御性の向上が必要とされている。現状では超伝導量子ビットの制御回路は室温下にあり、量子ビット制御のための同軸ケーブルによる熱流入や、ケーブル本数増加による物理的なスペース制約の問題が生じる。これらを解決するためには、冷凍機内に配置したクライオエレクトロニクスによる制御システムを構築することの重要性は大きい。制御回路の一部を室温ではなく 4K 下で稼働させることで、量子ビットの制御性の向上が期待できる。このようなクライオエレクトロニクスとして Cryo-CMOS の利用が候補となっている。

本研究では 4K ステージにおける Cryo-CMOS の性能、および消費電力を改善するため、LSI 向けの超伝導配線として Nb 配線の検討を行った。LSI の利用においては 100nm 幅以下の Nb 配線形成の必要がある一方で、Nb は酸化しやすく、Nb の酸化抑制を効果的に行う必要がある。最近このような要求に対して、酸化抑制手法の 1 つとして Nb 膜表面への Cap 層の成膜 (Ta, Al, TiN, Au) が検討されている[1]。本研究では Ru を Cap 層として成膜し、酸化抑制機構の解析を行った。Ru 酸化物は導電性があり、酸化したとしても電気的なコンタクトが可能[2]であり Cap 層に適していると考えたためである。熱酸化膜付きシリコン基板上に Nb 膜を 40nm 成膜した試料 (Cap 無 Nb) と、Nb40nm の上に Cap 層 Ru を 5nm 成膜した試料 (Cap 有 Nb) を用意し、室温大気中で 1 ヶ月保管した。両試料について XPS で深さ方向の分析を行った。図 1 に膜表面の XPS 測定結果を示す。横軸に Nb 酸化物における 3d5/2 軌道の文献値を示した。Cap 無 Nb では Nb₂O₅ の 3d5/2, 3/2 軌道が確認できる。Cap 有 Nb の試料においても Nb₂O₅ の軌道が確認できるが、ピーク全体を見ると右側に裾が広がっている。これは NbO₂ 及び NbO の存在を示しており、Cap 層無 Nb の場合とは異なり酸化数が小さいことがわかる。図 2 は表面から深さ 33.3nm での XPS 測定結果である。Cap 有 Nb は Nb metal の 3d5/2 軌道(202.4eV)が確認できる。しかし、Cap 層無 Nb では 202.7eV にピークがあり、全体が左へシフトしている。これは 203.7eV にある NbO の 3d5/2 軌道によるものと考えられ、微量の酸化が起きているものと言える。以上から、Ru5nm で Cap することで大気中保管した際の Nb 膜の酸化が抑制できることを確認した。

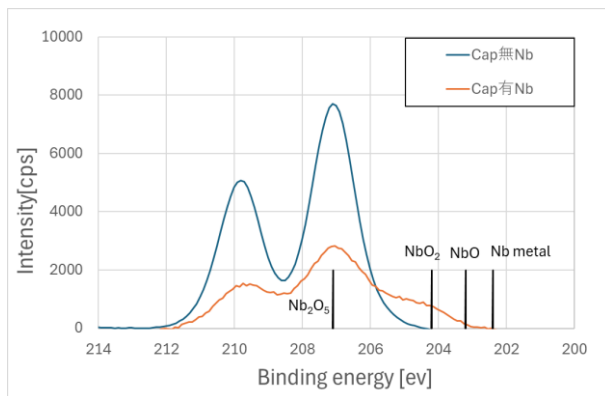


図 1 XPS 測定結果 (Nb3d) (最表面)

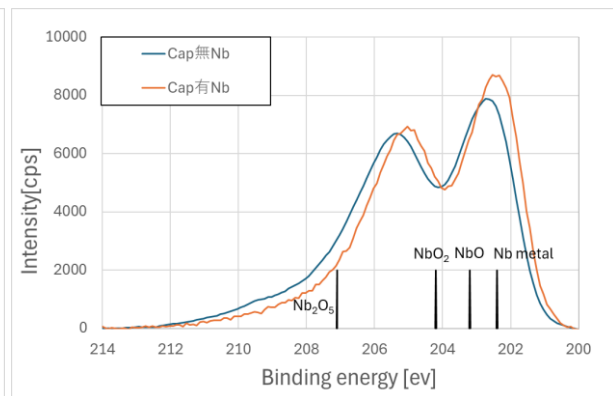


図 2 XPS 測定結果 (Nb3d) (深さ 33.3nm 位置)

謝辞：本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant 番号【JPMJMS2067】の支援を受けたものです。

参考文献：[1] Bal, M., Murthy, A.A., Zhu, S. *et al.* Systematic improvements in transmon qubit coherence enabled by niobium surface encapsulation. *npj Quantum Inf* **10**, 43 (2024).

[2] Abe, Osamu & Taketa, Yoshiaki. (2000). Electrical Conduction in Thick Film Resistors. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 24. 1163. 10.1088/0022-3727/24/7/022.

次世代配線材料としての Ru 薄膜の特性評価と密着性改善

Evaluation of Ru Thin Film Properties and Adhesion Improvement for Next-Generation Interconnect

慶大理工 ○林 凌佑, 小川 瑞月, 押尾 世文, 安達 和喜, 田中 貴久, 多田 宗弘

Keio Univ., Ryosuke Hayashi, Mizuki Ogawa, Seibun Oshio, Kazuki Adachi, Takahisa Tanaka, Munehiro Tada

E-mail: hayashi@tada.sd.keio.ac.jp

LSI ロジックデバイスの微細化に伴い、現行配線材料である Cu は抵抗率の上昇が顕著となっている。微細化による抵抗率の増加が小さく、層間絶縁膜と金属間での相互拡散信頼性に優れる代替配線材料の導入が期待されている。新規材料候補のひとつである Ru は低抵抗、かつ Cu と異なりバリア層を介さずに層間絶縁膜との直接接触が可能なメリットがあるが、SiO₂ との密着性が悪く、密着層としてライナー層を介す必要がある[1]。バリア/ライナー層は配線における配線金属の実効的体積分率を制限し抵抗に影響を与えるため、さらに次世代の微細配線においては、バリア/ライナー層を用いない配線プロセスを確立することは重要である。

本発表では Ru に関して RF マグネトロンスパッタ成膜での成膜条件の違いによる結晶性や表面形態などの薄膜特性の違いとともに、Ru 配線のボトルネックである絶縁膜上での密着性の改善について報告する。図 1, 2 はそれぞれスパッタ成膜時の圧力と、Ru 膜の結晶配向性および表面ラフネスの関係である。低圧ほど (002) 配向性が高くなり、表面ラフネスが小さくなっている。一方、図 3 に示すウェハ中心付近で実施したテープ試験の光学顕微鏡画像によると、低圧ほど密着性は低下した。このように、Ru 膜は結晶性と密着性の間にトレードオフの関係があることがわかった。この原因としては薄膜にかかる残留応力により密着性が低下している可能性がある。当日の発表では膜の抵抗値についても議論する。

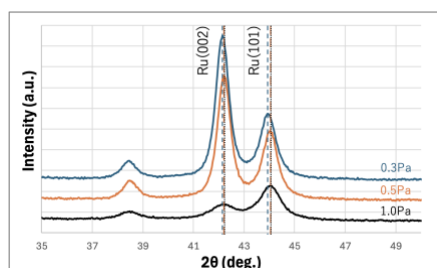


図 1. 成膜圧力の違いによる XRD パターン

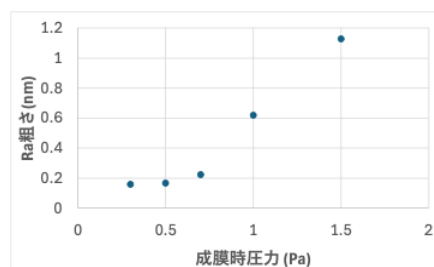


図 2. 成膜時圧力と表面粗さの関係

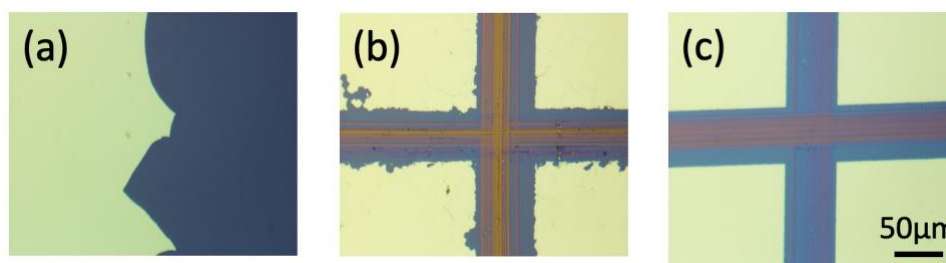


図 3. 成膜時圧力と密着性 (a) 0.5Pa (b) 0.7Pa (c) 1.0Pa

参考文献

[1] Liang Gong Wen, Atomic Layer Deposition of Ruthenium with TiN Interface for Sub-10 nm Advanced Interconnects beyond Copper, ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. 8, Issue39, 201

無電解めっきによる CoMn 拡散バリア膜形成の検討

Study of Electroless plated CoMn diffusion barrier film

関西大システム理工, 新宮原正三、石井優子、濱村尚伸、伊藤健、清水智弘

Kansai Univ., Faculty of System Engineering and science,

E-mail: shingu@kansai-u.ac.jp

3D-LSI を作製するための三次元実装技術の主要要素技術にシリコン貫通電極(TSV)がある。TSV 内部の配線材料に Cu が使用されるが、Cu は SiO₂ 中に拡散し易いことが問題であるため、Cu と SiO₂ の間にバリアメタルを製膜し、Cu 拡散を抑制することが必要になる。TSV の微細化及び高アスペクト比が進行する中で、スパッタ法以外のコンフォーマル成長が可能で安価な無電解めっき法を用いてのバリアメタル形成を検討してきた。従来は無電解 CoWB 膜 (還元剤は DMAB) を検討してきたが、350°C の熱処理において Cu の拡散がある程度発生し、不完全な拡散バリア性という問題があった。今回は還元剤としてヒドラジン水和物を用いた無電解めっき CoMn 膜形成を検討した。Co 合金膜の形成においては、SiO₂ 膜を下地として、湿式法による Pd 触媒吸着処理を行った。まず CoB, CoWB, CoMn の 3 種類の無電解めっき膜の電気抵抗率の熱処理温度依存性を図 1 に示す。いずれも膜厚は約 80nm であり、熱処理温度は 200°C、300°C、400°C、各 30 分で高真空雰囲気中で熱処理を行った。CoB が最も電気抵抗率が大きく、CoWB では CoB の半分程度まで抵抗率が小さくなり、さらに CoMn では CoB の 10 分の 1 以下の抵抗率となった。CoB では膜中に 10% 以上の B が混入しているが CoMn では Mn の混入率は 0.2% 程度であり、低不純物濃度であることが抵抗率が減少した理由と考えられる。次に CoWB と CoMn 膜の Cu 拡散バリア性評価について、SIMS 分析の結果を図 2 に示す。熱処理温度は 350°C、30 分であり、これは 3 次元実装工程の熱ストレスを想定した条件である。CoWB (図 2-a) では Cu が CoWB 膜中にかなり拡散しているが、CoMn (図 2-b) では Cu 拡散が抑制されていることがわかった。CoMn で良好な拡散バリア性が発現した理由は熱処理時に表面・界面に緻密な CoMn 酸化膜が形成されたためと考えられる。

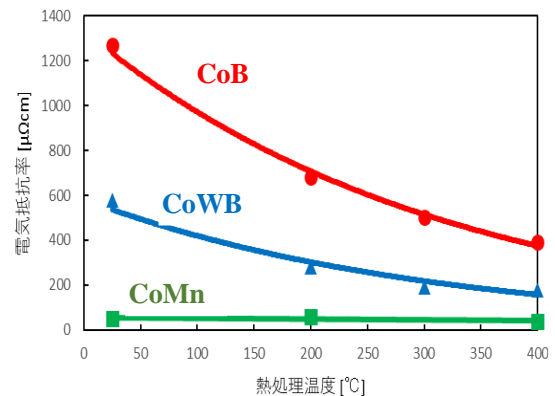


図 1 無電解めっき Co 合金膜の抵抗率温度依存性の比較

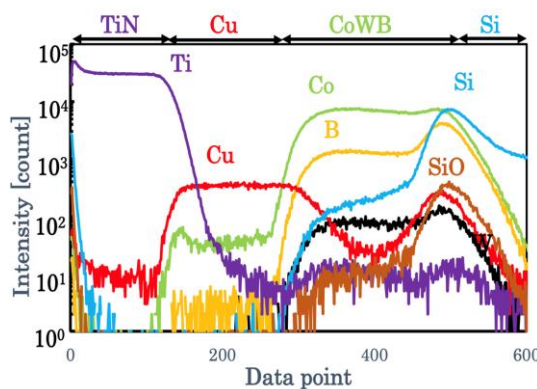


図 2-a

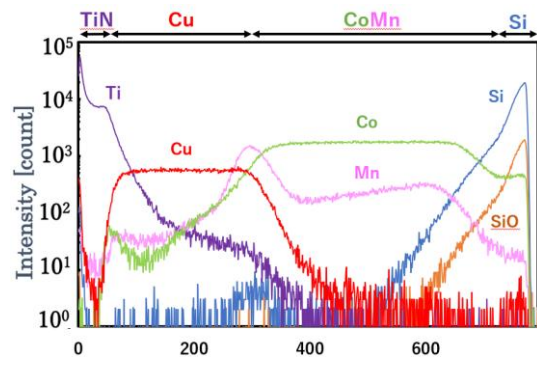


図 2-b

ヨウ化銅 (I) を原料とする CVD 法によるビアホールの選択埋め込み Selective Cu-filling into Via-hole by Chemical Vapor Deposition using CuI-precursor

茨城大工 °難波 拓生, 宮本 裕, 山内 智

Ibaraki Univ., °Takumi Namba, Yu Miyamoto, Satoshi Yamauchi

E-mail: satoshi.yamauchi.0606@vc.ibaraki.ac.jp

[はじめに] 先に我々は、ヨウ化銅 (I) (CuI) を低圧中で加熱して昇華させて基板上に供給することで、 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 以下で金属上へのみ選択的に Cu を形成できること^[1]、および、その原理を示してきた^[2]。また、スパッタ形成したブランケット $\text{Ru}(0001)$ 上で優先配向した $\text{Cu}(111)$ の形成が可能であることやその成長形態について報告した^[3]。今回は、これらの結果を基に $\text{Ru}(0001)$ 層を下地とする SiO_2 ビアホールへの Cu の選択的埋め込みを試みたので報告する。

[実験方法] Cu の堆積は背圧 1×10^{-4} Pa 程度の SUS 製チャンバー内にて CuI を $300\text{ }^\circ\text{C}$ 程度で昇華させて $380 \sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ に加熱した基板上に供給しておこなった。TEOS- $\text{SiO}_2/\text{Ti}/\text{Ru}(0001)/\text{Thermal-SiO}_2/\text{Si}$ の TEOS- SiO_2/Ti を RIE 加工してビアホールを形成した。なお、TEOS- SiO_2 と Ti の厚さはそれぞれ $2.3\text{ }\mu\text{m}$ と 5 nm である。ビアホール付き基板は、硫酸過水洗浄後に Hg-Xe Deep-UV lamp (500 W) を用いて大気中にて UV 光照射を行った後に装置内に装填し、 Cu 堆積前に 2 プロパノール (IPA) 処理 ($230\text{ }^\circ\text{C}$ 、 1×10^{-2} Pa、 5 min) をおこなった。

Cu 成長前後の表面形状の観察には 3D 測定レーザー顕微鏡 (CLSM : Olympus OLS4000-SMT) と SEM (Hitachi-SU5000) を使い、結晶配向性は θ - 2θ XRD (Rigaku UltimaIV) により評価した。

[実験結果] 図 1 は $275\text{ }^\circ\text{C}$ で原料 CuI を昇華させながら $380\text{ }^\circ\text{C}$ で Cu を堆積させた後の劈開面の SEM 像で、(a) UV 光照射なしで 80 分間堆積、(b) UV 照射後に 80 分間堆積、(c) UV 照射後に 240 分間堆積した。図 1 (a) のように硫酸過水洗浄と IPA 処理後の堆積では、 Ru 上での面内方向での Cu 成長が阻害され、多数の Cu 粒子が確認される。一方、硫酸過水洗浄後に UV 光を照射して IPA 処理した後の堆積では、図 1 (b) の様に Ru 面内方向での成長が促進され、ビアホール底部に単一の Cu 粒子が形成される。更に、長時間の堆積時間では図 1 (c) のように 2 次核形成が生じず Cu 粒子が成長してビアホールをボトムアップに単一の Cu で埋め込む様子が確認された。なお、XRD 測定の結果、堆積した Cu は (111) 主配向であることが確認されている。

[参考文献]

[1] T. Nishikawa et al., J. Cryst. Growth 549, 125849 (2020).

[2] T. Joutsuka, S. Yamauchi, Chem. Phys. Lett. 741, 137108 (2020).

[3] G. Toyoda et al., Jpn. J. Appl. Phys., 62 (2023) SH1002.

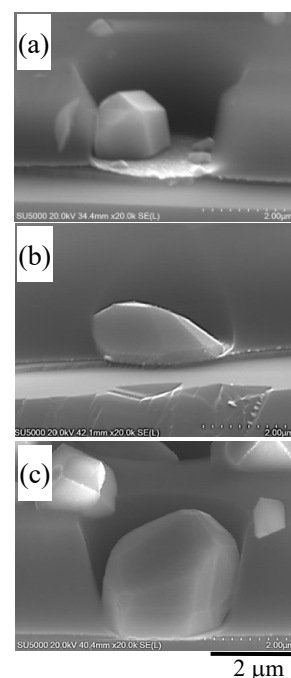


図 1 Cu 堆積後の断面 SEM 像