

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 19 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04223

研究課題名(和文)最先端3次元デバイス及び3D-LSIに適用可能なCu配線における革新的配向制御

研究課題名(英文)Orientation control applicable Cu interconnect on the cutting edge of 3D devices and 3D-LSI

研究代表者

武山 眞弓 (Takeyama, Mayumi B.)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：80236512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、エレクトロマイグレーション耐性に最も優れているCu(111)配向を制御するために、薄い拡散バリアにCu(111)配向の下地材料としての機能を付与した材料を検討した。その結果、従来のような下地材料と拡散バリア材料という2層構造を必要とせず、5nmのTaWNバリア上にCu(111)を高配向成長させることに成功した。また、極めて困難とされた5nmのTaWN膜の構造解析に初めて成功し、TaWN(111)配向上にCu(111)の配向制御を達成した。これらの成果は、将来の半導体技術そして学術的にも新たなCu(111)配向制御の在り方を示すものであり、極めて有効な結果をもたらした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでエピタキシャルの関係があるCu/Nbなどごく一部の材料のみがCu(111)配向をもたらす下地材料であり、比較的厚い膜が使われてきた。また、下地材料は拡散バリア性に乏しく、拡散バリアとの2層構造をとることが、微細プロセスと相反することになり、Cu(111)配向の実現は困難を極めた。しかし、我々が実現した5nmの拡散バリア上でもCu(111)配向制御が可能であるという発見は、これまでにない新規性、独創性に富む有意義な結果である。同時に、将来配線上に形成されるデバイスの性能向上にとっても極めて有用な結果を示すことが期待され、新たな分野を確立できるほどの学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：We examine a thin TaWN film as a material candidate that satisfies characteristic of both an underlying material for the Cu(111) preferred orientation and thermally stable barrier against Cu diffusion. It became clear that the 5-nm thick TaWN film has excellent barrier properties of sufficiently suppressing the Cu diffusion even after annealing at 700 degree C for 1 h. Simultaneously, the Cu film on the 5-nm-thick TaWN film shows the (111) highly orientation. It was difficult to elucidate this mechanism, but it was clarified by introducing new measurement system. It was revealed that the structure of this barrier is based on the fcc-TaN with a slightly expand lattice and shows the (111) orientation, resulting in the lattice matching with Cu (111). It was found that the TaWN is useful as a material that has two different properties of the barrier material and underlying material for Cu(111) orientation. These results will be useful for future metallization technology.

研究分野：集積回路

キーワード：集積回路 Cu配線 配向制御 拡散バリア 下地材料 信頼性 構造解析 熱的安定性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

LSIの配線分野において、fcc金属であるAlやCuの(111)面は稠密面であり、かつエレクトロマイグレーション耐性に最も優れた面であることから、(111)配向は強く要求されてきた(1-6)。Cu(111)配向を得るためには、一般にNbや α -Taなどのbcc金属を用い、エピタキシャルの関係を使って配向させることが常識である(7-11)。しかしながら、これらの金属はCuの拡散を抑制する効果に対しては不十分であり、これらの金属を下地材料という位置づけにして、拡散バリア材料との2層構造をとる必要があった。さらには、下地材料は比較的厚い膜厚を必要すること、スパッタでは通常 β -Taが形成してしまうことも問題となってきた(12-14)。

一方、Cu配線は、かねてよりSiあるいは SiO_2 への拡散・反応が低温で起こることが問題となっていた(15,16)。このようなCuの拡散・反応は、デバイスの劣化を引き起こすことになるため、Cuの拡散を抑制する拡散バリアが必要であるとされ、多くの材料が研究されてきた。小野らの報告では、 $\text{Cr} < \text{Ti} < \text{Nb} < \text{Mo} < \text{Ta} < \text{W}$ という順番でWの方へ向かって拡散バリア性能が高いことが示された(17)。一方、実際に用いられている拡散バリア材料は、TiNやTa₂N₅であり、特にTa₂N₅はCuの拡散バリアとして主流となっている。しかしながら、Cu/TiNやCu/Ta₂N₅の2層構造では、Cu/NbのようなCu(111)配向が得られないことが知られている(7,18-21)。最も重要なのは、Cu(111)配向とCu配線の高信頼性の両方を得るには、Cuの配向を促す下地材料とCu配線の信頼性を得るための拡散バリア材料の2層構造をとらなければいけないが、そのトータル膜厚は厚くなり(22)、微細化するLSIの配線にとって、二律背反的な要素となることが問題で、(111)配向を制御することは困難とされた。

2. 研究の目的

我々はかねてより下地材料の性質と拡散バリア材料の性質の両方を併せ持つ材料を探してきた。その中で、TaWN₃元合金をその候補の一つとして選定した。実際、我々はTa-W合金バリア、Ta_xN_yやWN_x膜についてもそのバリア特性を検討しており、Ta-W合金が一つの金属のように振る舞うことでTaWN合金が疑似的単一金属窒化物となり得るのではないかと考えたからである(21,24)。

我々は、Cu/Si間にTa_xN_yやWN_x膜を100nmの膜厚の拡散バリアについて検討してきた。その中でTa₂N₅とW₂N₃バリアはそれぞれ750°C及び800°Cで1時間の熱処理に耐えられる優れたバリア材料であることを報告した(21,24)。しかしながら、これらの材料系の上で、Cu(111)配向が実現できたという報告は著者らが調べた限りはなかった。一方、100nm膜厚のW上あるいはTa-Wバリア上ではCu(111)配向が認められるが、これらのバリアを用いた場合、690°Cあるいは700°Cで1時間の熱処理によって、系の劣化が認められ、良好なバリア特性は得られていないことが明らかである(25,26)。

そこで本研究では、これまで我々が検討してきた拡散バリアを用いて、Cu(111)配向が実現できるかどうか、あるいは下地材料の役割と拡散バリアの役割を併せ持つ材料はないのかといった新たな視点でCu(111)配向の制御を行うことを研究の目的とした。このような取り組みはこれまでに例がなく、新規で独創的な研究であるが、Cu(111)配向を新たな手法でコントロールすることが可能なかどうかはチャレンジングな研究であった。時に、LSIの配線上に新たなデバイスを構築する動きも加速しており、そのようなデバイスの基板としての配線においてもCu(111)面が重要であるとの新しい視点にも合致することから、我々は、薄いバリア膜上にCu(111)を配向させる新たな方法を検討した。

3. 研究の方法

基板は、ガラス基板、p-Si(100)、 SiO_2/Si 基板などを用いた。成膜には、4極直流スパッタ装置を用い、 5×10^{-7} Torr以下まで排気した後、スパッタガス圧を 2×10^{-3} Torrとしてスパッタを行った。TaWN膜は、Ta-W複合ターゲットを用い、Ar+N₂(30~40%)の混合ガスにて成膜した。スパッタの電圧、電流は、それぞれ1kV、70mAとし、基板温度は350~400°Cとした。さらに真空を破らずにCu膜をArガスにて室温でスパッタし、その電圧、電流は500V、70mAとした。得られた膜は、X線回折(XRD)、オージェ電子分光(AES)、透過型電子顕微鏡(TEM)、極点図、ロックンガープ、電子線後方散乱法(EBSD)などで分析を行った。特に、極薄膜としたTaWN膜の構造解析は、通常解析では行えなかったため、ACOM-TEMにて分析した。

4. 研究成果

(1) TaWN膜のキャラクタリゼーション

まず我々は、TaWN膜のキャラクタリゼーションについて検討した。図1は、100nmの膜厚のTaWN膜から得られたXRDパターンを示す。スパッタガス中の窒素の分圧を変化させても、基本的にはTa₂N₅の回折線が得られていることがわかる。また、ピーク形状から見ても左右対称であることから、得られた合金膜の構造は、fcc-Ta₂N₅が基本構造となっているとみなされた(27)。また、窒素30%よりも40%の方が、ピーク強度が増加し、よりシャープな回折線となっていることから、今後は窒素40%として成膜することとした。

一方、TaWN膜の抵抗率を調べた結果を図2に示す。TaWN膜は3元合金であるにもかかわらず

らず、低い抵抗率を示すことがわかった。このことから、先の構造が TaN を基本としていることとよく一致している。通常、3 元合金は Cu 配線の拡散バリア材料として有用であることが知られている。(Ta, W, Mo)-Si-N 膜は最も高い熱的安定性が得られるが、その抵抗率は $600\sim 2200\mu\Omega\text{cm}$ もある (28,30)。また、Ti-W-N 膜についてもバリア性を高くすると抵抗率も高くなる ($\sim 7150\mu\Omega\text{cm}$) ことが知られている (31)。Cu 配線の信頼性の向上のためには、熱的に安定な拡散バリアを使うことが求められるが、その一方でバリアは低抵抗なものが望まれ、3 元合金は二律背反的な要素を持っている。それに対して、我々が提案する TaWN バリアは、その構造からもわかるように TaN を基本としていることから、疑似的な単一窒化物のように振る舞うことが可能な 3 元合金と思われる。実際、他の 3 元合金と比べると図 2 に示したように抵抗率は低く、むしろ TaN や W_2N などの抵抗率に匹敵する。

一方、この膜の組成を AES 分析にて調べた結果を図 3 に示す。この図から Ta:W:N=30:36:34 であった。この結果から、膜中の金属の成分が多く、TaN として形成しているのであれば、(Ta,W):N=50:50 程度となるのではないかと疑問が生まれる。しかしながら、TaN という基本構造自体が N=30at.% 以上で TaN を形成できるとの報告があり、これらの結果から我々の結果は矛盾がないことがわかる (26,32)。また、TaWN 膜の中で形成可能な化合物としては、 Ta_2N 、TaN、 W_2N 、WN が考えられるが、それらの標準生成熱 (ΔH) の値を比べると、最も負で大きい値を示すのは TaN である (33,34)。このことから、TaWN 膜がその基本構造を TaN とし、若干 N-poor であっても TaN として形成されたことは妥当と言える。

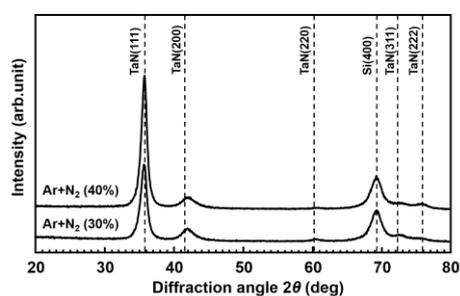


図 1. 得られた TaWN 膜の XRD パターン。

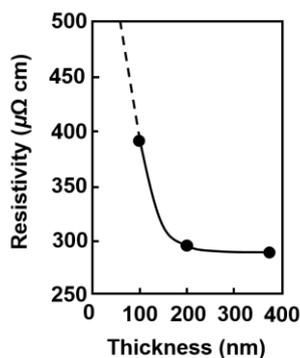


図 2. 得られた TaWN 膜の抵抗率。

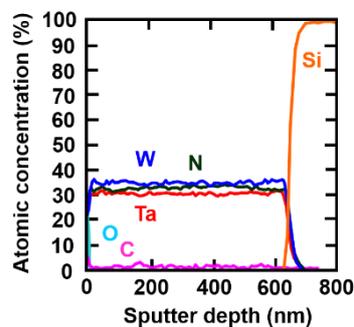


図 3. 得られた TaWN 膜の AES デプスプロファイル。

(2) Cu の拡散バリアとしての TaWN 膜の特性と Cu の配向について

この TaWN 膜を用いて Cu/TaWN/Si 構造を構成し、その熱的安定性を調べた。まずはバリアの膜厚を 100nm とした場合の XRD パターンを測定した。図示はしないが、まず Cu と TaWN 膜からの回折線のみがみられた。また、Cu と TaWN 膜ともに、多結晶構造となっていることが、その回折線から明らかであった。このサンプルは、 800°C 1 時間の熱処理後においても、Cu と TaWN からの回折線のみであり、 800°C という高温での熱処理に対してシリサイド等の反応が生じていないことが示唆された。しかし、バリアの膜厚が 100nm の場合には、Cu はランダム配向の多結晶とみられる XRD パターンを示していた。

一方、5nm の TaWN バリアを用いた場合の XRD パターンを図 4 に示す。Cu(111)面のみが優先配向していることがわかる。XRD パターンの拡大図からは、Cu(200)面からの回折線も極めて微弱であるが確認できた。このサンプルを 500°C 1 時間熱処理した後の XRD パターンにおいても、熱処理前とほぼ同様のパターンを示しており、Cu(111)面からの回折線の強度が若干増加した程度であることがわかる。また、5nm の TaWN バリアを用いているにもかかわらず、反応生成物であるシリサイドの形成はみられなかった。特に、薄いバリアを用いた場合には、バリアの結晶粒界を通して Cu が Si 基板方向へ拡散するが、 500°C という熱処理温度においてもそのような現象は起こっていない。

一方、Cu の XRD パターンから(111)面の優先配向が確認された。これは、厚い TaWN 膜上では起こり得なかったことである。事実、基本構造である TaN 上でも Cu(111)面の優先配向は報告されていない。我々は、次にこの Cu(111)配向について検討することとした。

図 5 に、Cu(111)面からのロックンクカーブを示した。熱処理前の状態では幾分ブロード状の形状を示しているものの、 500°C 以上の熱処理後にはシャープな形状を示すことがわかった。このロックンクカーブの半値幅は、熱処理前の状態で 5.86° であり、熱処理後には 4.68° となっていることがわかった。最も Cu(111)配向が得られる下地材料として知られている Nb を用いた場合、 3.81° と報告されているが、窒化物膜上では TiN を用いた場合、 12.60° とかなり大きくなることが報告されている。それに対して、我々の TaWN バリアを用いた場合には、Nb 上にやや匹敵するほどの Cu(111)配向がみられることがわかる。

一方、先の図 4 において極めて微弱ではあるものの Cu(200)面からの回折線がみられたことから、我々は配向の度合いを示す指標となっている $\log\{I(111)/I(200)\}^3$ を算出した (35)。まずは、Cu(111)配向の優先度合いを見ていると、熱処理前の状態で 7.742 であり、その後熱処理温度の増加と共にその値は大きくなり、 700°C の熱処理後において 9.924 となっている。この値も、

Cu/Nb 系では 8.46、Cu/TiN 系では 4.16 となっており、窒化物バリアを用いているにもかかわらず、Nb 上の Cu の配向に近い配向が得られていることがわかる。

次に我々は、面内の配向を調べるために SEM-EBSD 法による解析を行った。その結果を図 6 に示す。青～青紫色を示しているのが{111}方位であるが、図 6 にみられるように、ほぼ全体的に青～青紫色を示しており、わずかに他の色があるという状態となっていることがわかる。さらに、極点図も示したが、中心付近にポールが現れており、そのファミリーピークが 70.5° 付近にみられるが、明確なポールとはなっていないことから、膜厚方法には[111]が配向しているものの、面内ではランダム配向を示していると思われる。以上のことから、これまで下地材料上でのみ見られた Cu(111)配向が、拡散バリア上で、かつ窒化物上でも Nb と同程度の配向をもたらすことが可能であるという新たな知見が得られた。

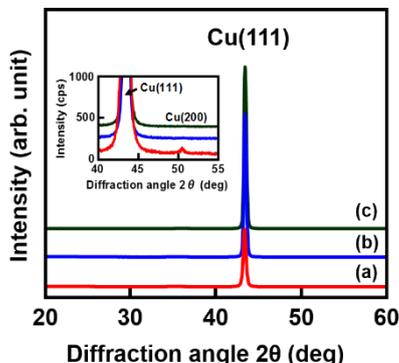


図 4. Cu(150 nm)/TaWN(5 nm)/Si 構造の XRD パターン。(a)熱処理前、(b)500°C熱処理後、(c)700°C熱処理後。

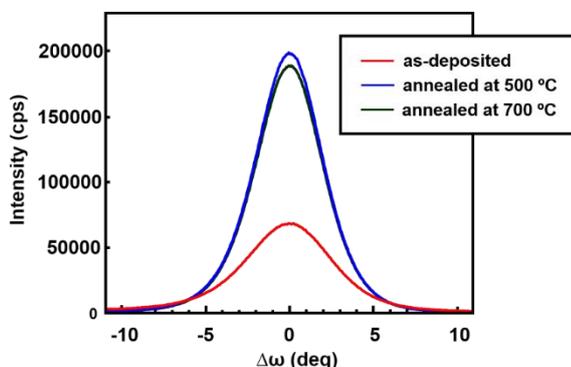


図 5. Cu(150 nm)/TaWN(5 nm)/Si 構造における Cu 膜のロックンクカーブ。

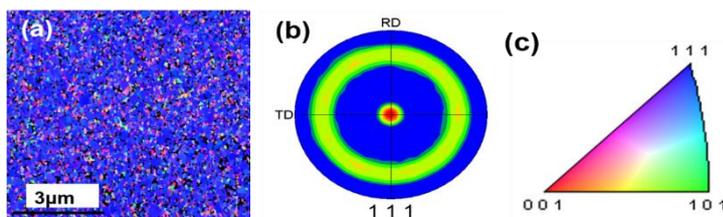


図 6. Cu(150 nm)/TaWN(5 nm)/Si 構造の Cu 膜の EBSD 分析。

(3) TaWN バリアの構造評価

これまでに報告されていない Cu(111)配向が得られたが、なぜ TaWN 膜上に Cu(111)配向が得られたのかの解明は困難を極めた。なぜなら、TaWN 膜は 5nm と極めて薄いからである。

そこで、我々は数 nm の分解能を誇る ACOM-TEM の導入を考え、東レリサーチセンターと協力して分析を試みた。その結果の一部を図 7 に示す。極めて薄い 5nm という膜厚であるにも関わらず、[111]方位を示す青～青紫色が多くみられていることがわかる。これは、我々が薄膜に特化した XRD にて分析した結果ともよく一致するものであった。一方、解析はさらに難しく、解析困難な場所は黒色で示されている。しかしながら、5nm の TaWN 膜が(111)配向していることはほぼ間違いないことを示すことができた。

TaWN が(111)配向しているならば、その XRD の回折線のピーク位置と Cu(111)面からのピーク位置を用いて、Lattice mismatch を算出することができる。図 8 にその結果を示す。この図から、Cu(111)と TaWN(111)の格子はほぼピッタリ一致した。このように、今回 Cu(111)配向が得られた要因は、TaWN 膜の組成や構造などの複雑な要因が相まって、Cu(111)配向を実現したものと考えられる。

我々は、エレクトロマイグレーション耐性に優れた Cu(111)配向を得るための新たな手法として、下地材料と拡散バリア材料の両方の特性を併せ持つ材料を検討してきた。その結果、TaWN 膜は 3 元合金でありながら、低抵抗な特性を持ち、かつ十分な熱的安定性を保持し、5nm の膜

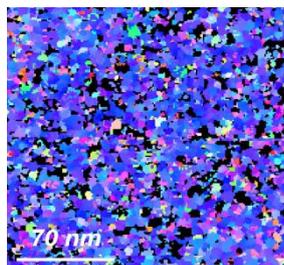


図 7. Cu(150 nm)/TaWN(5 nm)/Si 構造の TaWN 膜の ACOM-TEM 分析。

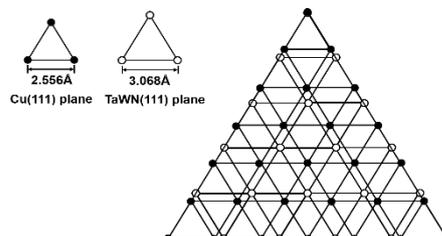


図 8. Cu と TaWN との格子整合の概略図。

厚であっても 700°Cまで Cu/TaWN/Si 構造における拡散・反応を抑制できる優れたバリア材料であることを示した。同時に、5nm の TaWN バリヤは Cu(111)配向の下地材料としての特性を併せ持ち、これまでエピタキシャルの關係を持った極めて有用な下地材料の一つと言われてきた Nb 膜上の Cu(111)に匹敵する優先配向を示すことが可能であることが明らかとなった。そのメカニズムは、5nm の TaWN 膜が(111)配向を示したこと、さらには組成、構造等の複雑な要因により Cu(111)とよく合致した構造となったことが挙げられる。したがって、我々はこれまでにない Cu(111)配向を得る新たな知見を明らかにすることができた。このことは、Cu 配線の信頼性の向上のみならず、新たに配線上に構築されようとしているデバイスの性能向上にとっても有用な知見となり得るものであり、将来の半導体産業にとっても学術的にも優れた成果を持たしたと言える。

参考文献

- 1) S. Bagalagel and J. Shirokoff, Mater. Sci. Eng., A **479**, 112 (2008).
- 2) C.-M. Liu, H.-W. Lin, Y.-C. Chu, C. Chen, D.-R. Lyu, K.-N. Chen, and K. N. Tu, Scr. Mater. **78-79**, 65 (2014).
- 3) T. Tian, *et al.*, Procedia Eng. **139**, 101 (2016).
- 4) J. Van Ek and A. Lodder, J. Phys.: Condens. Matter **3**, 7331 (1991).
- 5) C. M. Tan and A. Roy, Mater. Sci. Eng. R **58**, 1 (2007).
- 6) C. Ryu, *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices **46**, 1113 (1999).
- 7) Y. Nakasaki, G. Minamihaba, K. Suguro, and H. Itow, J. Appl. Phys. **77**, 2454 (1995).
- 8) Md. Maniruzzaman, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **43**, L1565 (2004).
- 9) Md. Maniruzzaman, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **45**, 9172 (2006).
- 10) Y. Gotoh and I. Arai, Jpn. J. Appl. Phys. **25**, L583 (1986).
- 11) Y. Gotoh and M. Uwaha, Jpn. J. Appl. Phys. **26**, L17 (1987) .
- 12) S. M. Rosnagel, J. Vac. Sci. Technol. B **20**, 2328 (2002).
- 13) C.-Y. Yang, J. S. Jeng and J. S. Chen, Thin Solid Films **420/421**, 398 (2002).
- 14) J.-W. Lim, K. Miyake and M. Issiki, Thin Solid Films **434**, 34 (2003).
- 15) C.-A. Chang, Appl. Phys. Lett. **55**, 2754 (1989).
- 16) C.-A. Chang, J. Vac. Sci. Technol. **A8**, 3796 (1990).
- 17) H. Ono, T. Nakano and T. Ohta, Appl. Phys. Lett. **64**, 1511 (1994).
- 18) K. Abe, Y. Harada, and H. Onoda, J. Vac. Sci. Technol. B **17**, 1464 (1999).
- 19) T. Hara, K. Sakata, and Y. Yoshida, Electrochem. Solid-State Lett. **5**, C41 (2003).
- 20) T. Hara and K. Sakata, Electrochem. Solid-State Lett. **4**, G77 (2001).
- 21) M. Takeyama, *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B **14**, 674 (1996).
- 22) T. Nogami, *et al.*, Interconnect Technology Conf. (IITC), 2010, p.1.
- 23) M. B. Takeyama and M. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 07KC03 (2017).
- 24) M. Takeyama and A. Noya, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 2261 (1997).
- 25) M. Takeyama, A. Noya, and T. Fukuda, J. Vac. Sci. Technol. A **15**, 415 (1997).
- 26) A. Noya, M. B. Takeyama, and T. Sase, J. Vac. Sci. Technol. B **23**, 280 (2005).
- 27) JCPDS-ICDD card No. 49-1283.
- 28) J. S. Reid, E. Kolawa, R. P. Ruiz, and M.-A. Nicolet, Thin Solid Films **236**, 319 (1993).
- 29) J. S. Reid, *et al.*, J. Appl. Phys. **79**, 1109 (1996).
- 30) D. Fischer, *et al.*, Microelectron. Eng. **50**, 459 (2000).
- 31) S. Zhou, W. Liu, H. Liu, and C. Cai, Phys. Procedia **18**, 66 (2011).
- 32) K.-H. Min, K. -C. Chun, and K.-B. Kim, J. Vac. Sci Technol. B **14**, 3263 (1996).
- 33) F. R. de Boer, *et al.*, *Transition Metal Alloys* (North-Holland, Amsterdam, 1988).
- 34) *Binary Alloy Phase Diagram*, ed. T. B. Massalski (ASM International, Materials Park, OH, 1990) 2nd ed.
- 35) S. Vaidya and A. K. Sinha, Thin Solid Films **75**, 253 (1981).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. B. Takeyama, M. Yasuda, and M. Sato	4. 巻 60
2. 論文標題 Structural analysis of TaWN ternary alloy film applicable to Cu orientation control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. J. A. P.	6. 最初と最後の頁 SBBC04
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abebbd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. B. Takeyama, M. Sato, and M. Yasuda	4. 巻 59
2. 論文標題 Relationship between <111>-oriented Cu film and thin Ta-W-N barrier	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SLLD02-1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ab8e1e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masaru Sato, Mitsunobu Yasuda and Mayumi B. Takeyama	4. 巻 59
2. 論文標題 XRD and EBSD analysis of Cu film on randomly oriented ZrN x film as the underlying materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SLLD01-1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ab7f57	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masaru Sato and Mayumi B. Takeyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Cu(111) preferential orientation on thin HfN film as a diffusion barrier	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SHHA01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab1a29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaru Sato, Hideki Kitada, and Mayumi B. Takeyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Characterization of TiN films sputter-deposited at low temperatures for Cu-through-silicon via	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBC03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab01d9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaru Sato, Hideki Kitada, Mayumi B. Takeyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Characterization of TiN films sputter-deposited at low temperatures for Cu-through-silicon via	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBC03 ~ SBBC03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab01d9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaru Sato and Mayumi B. Takeyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Cu(111) preferential orientation on thin HfN film as a diffusion barrier	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 M. B. Takeyama, M. Sato, and M. Yasuda
2. 発表標題 Barrier Properties of thin TaWN films in Cu(111)/TaWN/Si systems
3. 学会等名 The 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. B. Takeyama
2. 発表標題 Low temperature deposition of extremely thin barrier for metallization technology
3. 学会等名 MRS2021 Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武山真弓, 佐藤 勝, 安田光伸
2. 発表標題 Cu(111)高配向制御が可能な極薄TaWNバリアの構造解析
3. 学会等名 応用物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山真弓, 佐藤 勝, 安田光伸
2. 発表標題 Cu(111)配向制御のための極薄バリアの構造評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山真弓, 安田光伸, 佐藤勝
2. 発表標題 極薄バリア上のCu(111)配向メカニズム
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品材料研究会(CPM)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. B. Takeyama, M. Sato, and M. Yasuda
2 . 発表標題 Cu(111) orientation control on thin TaWN alloy barrier
3 . 学会等名 Advanced Metallization Conference plus 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Sato, M. Yasuda, and M. B. Takeyama
2 . 発表標題 Cu(111) preferential orientation on ZrNx films
3 . 学会等名 Advanced Metallization Conference plus 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masaru Sato and Mayumi B. Takeyama
2 . 発表標題 Properties of barrierless Cu/ZrNx/Si structure deposited at room temperature
3 . 学会等名 Solid State Devices and Materials (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 佐藤 勝、安田 光伸、武山 真弓
2 . 発表標題 ZrN膜上に成膜したCu(111)優先配向
3 . 学会等名 電子情報通信学会
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 武山 真弓、佐藤 勝、安田 光伸
2. 発表標題 極薄TaWNバリヤ上のCu(111)高配向制御
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山 真弓、佐藤 勝
2. 発表標題 新規成膜手法による極薄バリヤ膜作製とCuの配向制御
3. 学会等名 日本表面科学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 RFスパッタ法によって室温成膜されたZrNx膜の特性
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武山 真弓、佐藤 勝
2. 発表標題 極薄TaWN膜上のCu配向制御の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 RFスパッタ法によるTi膜の低温作製
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 反応性スパッタ法によって得られたZrN膜上のCu(111)高配向化
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 勝、北田 秀樹、武山 真弓
2. 発表標題 低温作製されたZrO _x N _y
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Sato, Hideki Kitada, and Mayumi B. Takeyama
2. 発表標題 Characterization of TiN dilms sputter-deposited at low temperatures
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayumi B. Takeyama, Masaru Sato, and Motsunobu Yasuda
2. 発表標題 Control of Cu(111) orientation on TaWN alloy barrier
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Sato and Mayumi B. Takeyama
2. 発表標題 Cu(111) preferential orientation on the HfNx films
3. 学会等名 Advanced Metallization Conference 2018: 28th Asian Session (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Sato and Mayumi B. Takeyama
2. 発表標題 Preferential orientation of Cu(111) with large grain sizes on thin TiHfN barrier
3. 学会等名 Advanced Metallization Conference 2018: 28th Asian Session (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 低温プロセスによるTiNx膜の熱的安定性
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武山 真弓、佐藤 勝
2. 発表標題 極薄バリア上のCu(111)配向制御
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 薄いHfNx膜上でのCu膜の配向性評価
3. 学会等名 ADMETA Satellite Workshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武山 真弓、安田 光伸、佐藤 勝
2. 発表標題 極薄TaWNバリア上のCu(111)配向制御
3. 学会等名 ADMETA Satellite Workshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 勝、武山 真弓
2. 発表標題 HfN膜を用いたCu膜の配向制御
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	佐藤 勝 (Sato Masaru) (10636682)	北見工業大学・工学部・准教授 (10106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------