

Title	セルロースナノペーパー上の結晶化シリコン薄膜による薄膜トランジスタの作製
Author(s)	堀田, 將
Citation	科学研究費助成事業研究成果報告書: 1-6
Issue Date	2019-05-16
Type	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/16035
Rights	
Description	基盤研究(C) (一般), 研究期間: 2016~2018, 課題番号: 16K06257, 研究者番号: 60199552, 研究分野: 半導体デバイス

令和 元年 5 月 16 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06257

研究課題名(和文)セルロースナノペーパー上の結晶化シリコン薄膜による薄膜トランジスタの作製

研究課題名(英文)Fabrication of thin-film transistor of crystallized silicon film on cellulose nanopaper

研究代表者

堀田 将(Horita, Susumu)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：60199552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：セルロースナノペーパー(CNP)上のSi膜の結晶化を低温で促進するために、多結晶YSZ膜をスパッタ堆積した。その際のCNP膜の熱的損傷を低減するために、熱的緩衝層として有機絶縁物Zeocoatと酸化Siの塗布膜を、また、試料と試料ホルダーとの間に放熱グリスを用いた。その結果、CNPの損傷が無く、厚さ70nmの結晶化YSZ膜の堆積ができた。また、ゲート絶縁膜としてシリコンオイルとオゾンガスを用いた大気圧CVD法により200℃以下で酸化Si膜を形成した。その中に残留して絶縁性を阻害するOH基を、還元作用の強いNH₃ガスをアニール雰囲気を用いることで、N₂雰囲気より低温で効果的に除去できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スパッタ堆積において、堆積中のプラズマにより基板を含めた試料温度は、基板加熱無しでも200℃程度に昇温する 경우가多く、プラズマによる基板熱損傷も無視できない。それに対して、緩衝層や放熱グリスを用いることで、基板温度を実質100℃前後に維持して基板損傷無しで、結晶化YSZ膜の成膜を可能にした。また、酸化Si膜中に残留するOH基の除去は、通常N₂ガス雰囲気中アニール処理ならば、400℃程度の温度が必要であるが、NH₃ガスを用いれば、200℃以下でもできる可能性を示した。これらの成果は、現高温プロセスから200℃以下の低温プロセスへの置換えを可能にし、省エネ、省資源化に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：For poly-YSZ film deposition on cellulose nanopaper(CNP) by sputtering, not only coated films of organic Zeocoat and silicon oxide but also thermal compound between the sample and holder were used in order to reduce plasma and thermal damage to the CNP during the deposition. As a result, 70-nm-thick poly-YSZ film can be deposited on the CNP without its thermal damage. Also, a silicon oxide film for gate insulator was deposited by using silicone oil and ozone gas in atmospheric CVD method at less than 200 °C. OH bonds which remain in the oxide film degrade its electrical insulation. In order to reduce them by annealing, NH₃ with Lewis base property was used instead of normal N₂ as atmosphere gas. Then, it was found that the NH₃ gas was more effective for reduction more than twice at less than 200 °C, compared with N₂ gas.

研究分野：半導体デバイス

キーワード：セルロースナノペーパー 結晶化シリコン 薄膜トランジスタ 低温作製 イットリア安定化ジルコニア

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球規模の環境課題を解決するために、あらゆるものにセンサを取り付け、その情報を集めるといふトリオンセンサ(Trillion Sensors Universe)という概念が提案されている。その最も有望なセンサ材料としては、確実な実績と資源的に豊富な Si が挙げられ、また、センサ基板にはセルロースナノペーパー(CNP)がある¹⁾。CNP は透明、軽量で、通常紙と比べて耐熱性があり、表面凹凸も数 nm 以下と極めて小さいため、厚さ数 100nm の電子デバイス、例えば薄膜トランジスタ(TFT)の作製も可能となる。さらに CNP は低環境負荷や再利用が可能と言う点からも、トリオンセンサの基板材料として相応しい。

(2) 環境課題解決の一つにデバイス作製プロセスの低温化もある。現在、良好なデバイス動作ができる結晶化 Si 薄膜の形成には、通常 600 以上の高温が必要であるが、我々は、瞬時に大きなエネルギーを Si 薄膜に与え、実質的に室温で高品質な膜ができるパルスレーザーアニール(PLA)法という低温作製を今まで取り組んできた。また従来から、非晶質基板上では、図 1(a)の様にデバイス特性の不均一化を招くランダム方位の結晶化膜が作製されてきたが、それに代わり図 1(b)の様に、Si の結晶化を誘発する結晶化誘発 YSZ 層を非晶質基板上にまず形成し、その上に堆積した非晶質 Si(a-Si)薄膜を固相で結晶化させる方法を提案した。これにより、YSZ 層の結晶情報に従った結晶方位を持つ Si 薄膜が、より低温で得ることができた。これと PLA 法を組み合わせにより、低温の高速固相結晶化を可能にした。さらに、レーザービームエネルギーを 2 段階に分けて照射する 2 段階照射法を提案し²⁾、これにより、粒径を通常の 20nm から 100nm 以上にして、電界効果移動度を溶融結晶化 Si 薄膜のものに近い 100cm²/Vs 程度になることを示した。

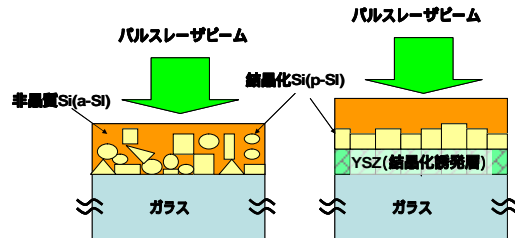


図 1 (a) Si/ガラス構造試料と(b)Si/YSZ/ガラス構造試料のパルスレーザーアニールによる結晶化状態の違い。

<引用文献> 1) H. Yagyu et al., “Chemical Modification of Cellulose Nanofibers for the Production of Highly Thermal Resistant and Optically Transparent Nanopaper for Paper Devices”, ACS Appl. Mater. Interfaces, Vol. 7, pp. 22012-22017, 2015. 2) M. Lien et al., “Improving crystalline quality of polycrystalline silicon thin films crystallized on yttria-stabilized zirconia crystallization-induction layers by the two-step irradiation method of pulsed laser annealing”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 54, pp. 03CA01,1-8, 2015.

2. 研究の目的

紙面上への電子デバイスレベルの良好な結晶化 Si 薄膜の形成及びそのトランジスタ動作は、多くの困難があり、いまだ報告がない。それは、高温でのみ安定にできる結晶化 Si と、室温の自然界でできるセルロースとの本質的に異なる形成環境の違いのためである。例えば、200 以上で CNP 上に結晶化 Si 薄膜を形成すれば、CNP 表面が炭化し、本来の性質が失われるが、逆に 200 以下の低温では、Si 薄膜の結晶化は不十分となり、デバイス材料としては使えない。そこで我々は、今まで培ってきた技術を用いてこの問題に対処した。すなわち、CNP 上に結晶化誘発層である多結晶 YSZ 膜を形成し、その後 PLA の 2 段階照射法により固相状態で CNP 上に結晶化 Si 薄膜を形成することである。このことを踏まえ、本研究の当初目的として、

- (1) CNP 上に CNP が劣化しないように YSZ 層を形成し、その上に堆積した厚さ 50~60nm の a-Si 薄膜を PLA の 2 段階照射法を用いて固相で結晶化させる。そのために、CNP と YSZ 層との間に熱的緩衝層を設け、最終的には、YSZ 層/緩衝層/CNP/ガラス基板 - 構造を作製する、
 - (2) 良好なゲート絶縁体膜として、厚さ約 100nm の Si 酸化膜を CNP が熱劣化しない 200 以下で形成する、
 - (3) PLA の 2 段階照射法により YSZ 層上に結晶化 Si 薄膜を CNP が劣化しない様に形成し、最終的に 200 以下で TFT を作製して、そのトランジスタ動作を確認する、とした。
- しかし、結果として、目的(1)と(2)に大きな時間が割かれ、目的(3)への取り組みはできなかった。

3. 研究の方法

- (1) CNP 上への YSZ 薄膜の形成

図 2 に本研究に用いた試料構造の模式図を示し、以下に具体的内容を述べる。

図 2 YSZ/緩衝層/CNP/ガラス基板

YSZ	80~90 nm
SiO ₂	130 or 260 nm
ZEOCOAT®	~1.5 μm
CNP	2~3 μm
Glass	~1 mm

ガラス基板上への CNP の形成

剛性が低い CNP の扱いを容易にするために、ガラス基板上に CNP 膜を形成し、その上に他の膜の形成を連続的に行った。CNP は、ホロセルロースパルプ由来のセルロースナノファイバー懸濁液から作製した。まず、スギチップを無水酢酸・過酢酸水素水混合液、5wt%水酸化カリウム水溶液で処理し、ウォータージェットシステムで機械的解繊処理した。その後、その 0.33wt% ナノファイバー懸濁液をスライドガラスに滴下・乾燥して、厚さ約 2~3 μm の CNP とした。

CNP 上への緩衝層の形成

YSZ 薄膜の形成には、低温でも結晶化膜の作製が可能となる反応性マグネトロンスパッタ法を用い、ターゲットには Zr+Y 金属円盤を、スパッタガスにはアルゴン + O₂ の混合ガスを用いる。この YSZ 薄膜作製に耐え得る緩衝層として、図 2 に示す様に厚さ約 1.5 μm の ZEOCOAT® と約 130 又は 260nm の SiO₂ 膜による 2 層構造を用いた。ZEOCOAT® は、シクロオレフィンポリマーを主成分とした有機物で、CNP との親和性が高く、耐熱性・電気絶縁性も高い。また、YSZ 膜に接する SiO₂ 層は、YSZ 膜堆積時の O₂ プラズマダメージを避け、熱安定性も高い YSZ と親和性のある無機物である。なお、ZEOCOAT® と SiO₂ 膜は、何れも塗布法により 150 °C で形成し、SiO₂ 膜の原液は、perhydropolysilazane (PHPS) 溶液を用いた。

緩衝層上/CNP/ガラス基板への YSZ 薄膜の堆積

スパッタ堆積による試料内蓄熱量を減らして CNP の熱ダメージを軽減するために、基板と試料ホルダー間に放熱グリス (T.C.) を塗り込み、試料からのホルダーへの放熱量を促した。YSZ 膜の堆積条件として、Ar, O₂ ガス流量をそれぞれ 5.8, 0.55 ~ 0.65 sccm とし、ガス圧を 6 ~ 7 mTorr、堆積パワーを 30 ~ 90 W とし、室温にて 10 分間の堆積を行い、膜厚を 50 ~ 90nm とした。

CNP 膜の熱劣化は可視光領域の光吸収率から、YSZ 薄膜の結晶化度合は XRD 法により評価した。

(2) ゲート絶縁膜 SiO₂ 膜の形成

SiO₂ 膜堆積法

低温で良好な絶縁性を保ち表面が平滑な SiO₂ 膜の形成を、我々が以前から検討してきたシリコンオイル (SO) とオゾン (O₃) ガスによる大気圧 CVD 法で行った。しかし、この方法では堆積速度が 3nm/min 程度と遅く、残留 OH 基量も多いことが問題であった。これは、SO と O₃ 間の熱化学反応で生成する OH 基を側鎖とする堆積前駆体間の脱水結合反応が不十分なためである。そこで脱水結合反応促進のために、トリクロロエチレン (C₂HCl₃:TCE) 溶液を N₂ ガスでバブリングし、その蒸気ガスを用いた。SO として decamethylcyclopentasiloxane: C₁₀H₃₀O₅Si₁₅ を用い、O₃ と共に TCE 蒸気ガスを流して、200 °C で加熱した Si 基板の上に 5 ~ 15 分間で堆積を行った。SO ガスの供給は、50 °C に加熱した SO に流量 0.25 または 0.35 lm (liter per minute) の N₂ ガスのバブリングで、O₃ ガスは、0.5 lm O₂ ガスの無声放電により約 140g/m³ 濃度で行った。また TCE ガスは、TCE 溶液の温度制御によりその飽和蒸気量つまり濃度を変えて、0.1 lm N₂ ガスのバブリングで供給した。膜の化学的構造と膜厚は、それぞれ FT-IR 及びエリプソメトリ法により評価した。

残留 OH 基の除去方法

残留 OH 基を除去するために、従来の N₂ 雰囲気アニールから NH₃ 雰囲気で行った。図 3 に、アニール方法の概略を示す。酸化 Si 膜は、この方法で厚さ 100 ~ 130nm 形成したものをを用いた。アニール条件としては、0.2 lm, NH₃ (99.999%) + 0.05 lm, N₂ ガスの吹き付け状態で 45 ~ 185 °C、5 ~ 30 min 間行った。比較のために N₂ = 0.2 lm の場合も行った。酸化 Si 膜の膜厚、屈折率は HeNe レーザ光を用いたエリプソメトリにより、化学的構造はフーリエ変換赤外分光 (FT-IR) 法により観測し、アニール効果を評価した。

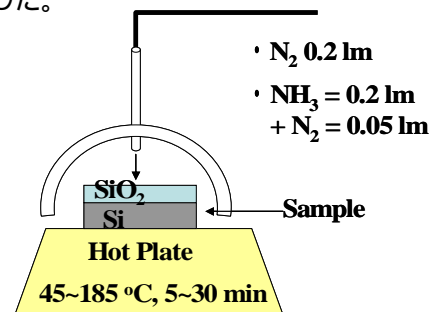


図 3 OH 基除去ガスアニール装置の概略

4. 研究成果

(1) 緩衝層上への結晶化 YSZ 薄膜の堆積

サーマルコンパウンド (T.C.) による加熱抑制効果

図 4 に、(a) 緩衝層/CNP/ガラス基板、(b) YSZ 膜堆積後の基板 (T.C. 有) を示し、参考として右下に T.C. を用いなかった場合の YSZ 膜堆積後の試料写真を示す。堆積パワーは 90 ~ 100W である。YSZ 薄膜を堆積しない (a) はほぼ完全な透明であるが、T.C. を用いないものは、CNP が焼け焦げ、試料表面が非常に荒れている。一方、(b) の T.C. を用いたものは (a) に比べて薄い灰色を示すが、T.C. が無いものに比べると明らかに平滑であり、透明であることも分かる。これは、

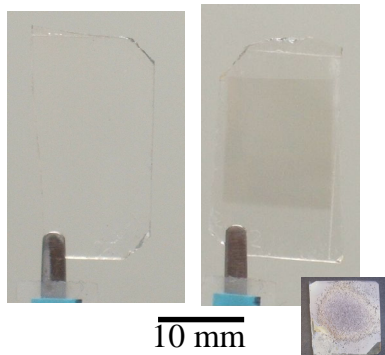


図 4 YSZ 堆積前後の試料写真

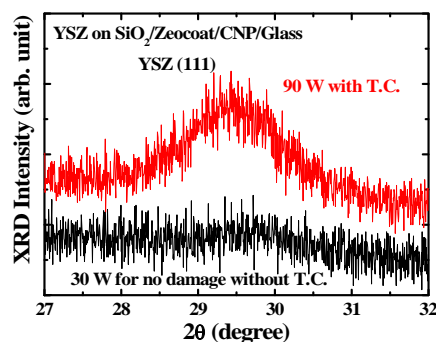


図 5 YSZ 薄膜の XRD パターン

試料表面で発生した熱の放熱が T.C. により促進され、CNP の熱劣化を抑えたためである。なお (b) のくすみは、YSZ の光学的屈折率がガラスの ~1.4 に比べて、約 2.0 と高いためであり、CNP の劣化によるものではない。図 5 に T.C. 有無における堆積した YSZ 薄膜の XRD パターンを示す。図から、T.C. (無) で CNP 劣化が無い最大パワー 30 W では、YSZ(111) のピークが殆ど観測されないが、T.C. (有) で 90 W までパワーを高くしたものは、結晶化を示すピークが明らかに観測される。

図 4, 5 の結果から、T.C. の使用が、プラズマによる膜表面温度の上昇を抑え、結晶化に有用な堆積パワーの増加を可能にすることが分かった。

堆積圧力と酸素流量による YSZ 膜の結晶化率への影響

図 6(a),(b) に、100W, 10 分間堆積した試料の XRD パターにおける YSZ (111) 積分強度の堆積圧力依存性及び酸素流量依存性をそれぞれ示す。なお、積分強度はガラス基板信号の積分強度で規格化し、(a) では、酸素流量を 0.45, 0.55 sccm の場合を、(b) では、圧力 6 mTorr の場合を示した。図 6(a) から、酸素流量が 0.45 sccm と小さいと積分強度も大きく、かつ、圧力依存性が強くなり低圧力になるに従い積分強度もより大きくなり、YSZ の結晶性が向上していることが分かる。また図 6(b) から、流量が 0.55 sccm から減少するに従い、積分強度が急激に上昇することがわかる。ただし、酸素流量 0.4 sccm 以下では、酸素供給量が少なくなるため、酸化物である YSZ 膜が形成され難く、金属ライクな膜となる。

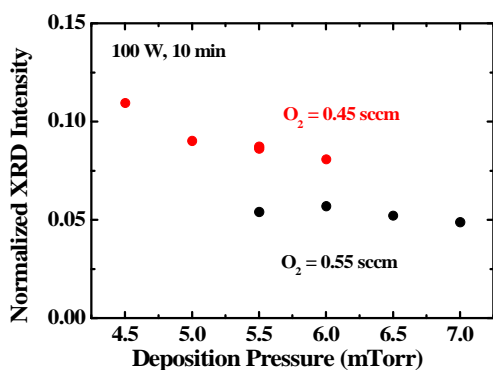


図 6(a) YSZ(111)積分強度の堆積圧力依存性

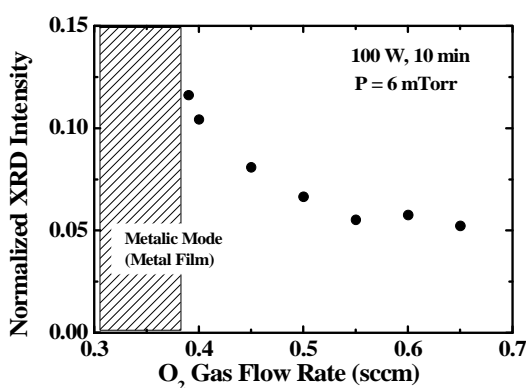


図 6(b) YSZ(111)積分強度の酸素流量依存性

(2) ゲート用低温酸化 Si(SiO₂)膜の作製

TCE 添加による堆積速度及び残留 OH 基量への効果

図 7 に、TCE 蒸気を供給し、SO 用 N₂ ガス流量 0.35 及び 0.25 lm で堆積した酸化 Si 膜の FT-IR スペクトルを、比較用の TCE 供給無のものと共に示す。但し、堆積温度 200 °C、堆積時間 10 分で、TCE 濃度は 0.25 mol/m² である。図から、何れのスペクトルも Si-O-Si に起因したピークが 1070 cm⁻¹ 付近で観測されると共に、C に起因したピークが観測されず、堆積膜がほぼ化学量論的組成の SiO₂ で堆積していることが分かる。しかし、950、3400 cm⁻¹ 付近では、Si-OH 結合など OH に起因したピークも観測でき、膜中に OH 基の残留が確認できる。一方、TCE ガスを添加させると、添加無に比べて Si-O-Si ピークが大きく増加しており、TCE 添加が堆積速度を向上させていることも分かる。その堆積速度の増加は、添加無のものに比べて約 3 倍となっていた。これは、TCE が SO と O₃ との熱化学反応により形成された前駆体と基板表面に終端している OH との脱水結合反応を促進したためである。

図 8 に、FT-IR 測定から求めた Si-OH 及び Si-O-Si 起因する ~3300 と 1070 cm⁻¹ 付近のピーク強度比の堆積速度依存性を示す。堆積速度は、SO に供給する N₂ 流量 F(SO) (●, ▲) と TCE 濃度を制御して変えた。参考のために TCE 無 (○) も示した。図から、堆積速度の増加と共に、OH

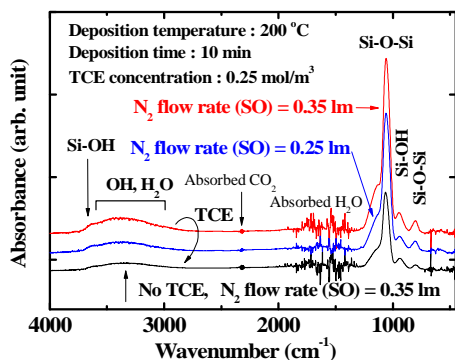


図 7 酸化 Si 膜の FT-IR スペクトル

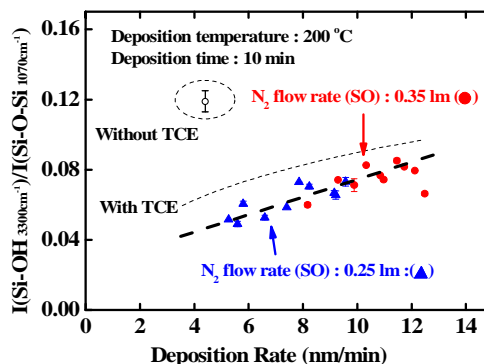


図 8 OH 残留量の 酸化 Si 膜堆積速度依存性

残留量が増えるが、TCE を用いないものに比べると、同じ堆積速度では OH 残留量が約 1/3 に減少しており、TCE が残留 OH 量の減少にも大きく寄与していることが分かる。堆積速度の増加に伴う OH 基量の増加は、堆積速度が高くなると前駆体 OH 間の脱水結合反応確率が減るためであり、TCE 添加はその反応確率を向上させ、残留 OH 基量の増加を抑えているものと考えられる。

NH₃ガスアニールによる残留OH基の除去効果

図 9 に、NH₃+N₂ ガスを用いたアニール後の FT-IR スペクトルを示す。参考として、未処理 (As-Deposited) 試料のものも示す。NH₃ ガスを用いると、75 °C 付近で既に Si-OH に起因するピークが比較的大きく減少しており、さらに温度を上げると大幅に減少している。このことは、NH₃ が Lewis 塩基として働き、膜中の残留 OH 基同志を Si-OH+Si-OH → Si-O-Si+H₂O の様に反応させて、OH 基の除去を促したためと考えられる。³⁾ ここで、低減効果の定量的な指標として、Si-OH に起因した 3400cm⁻¹ 付近のピーク値と Si-O-Si 結合に起因した 1070cm⁻¹ 付近のピーク値との比を用い、そのアニール温度依存性を、N₂ 雰囲気の結果と共に図 10 に示す。図から、NH₃ ガスを用いると、わずか 5 分間で約 100 °C の低温でも極めて有効に OH 基が除去されていることが明確にわかる。ただこの除去効果は、アニール温度を 130 °C 以上に上げて、またアニール時間や NH₃ 流量を 10 分や 400lm と上げて、その除去量は殆ど飽和した。今後は、この除去効果のメカニズムの詳細な検討を行い、それに基づいたアニール条件の制御を行う予定である。

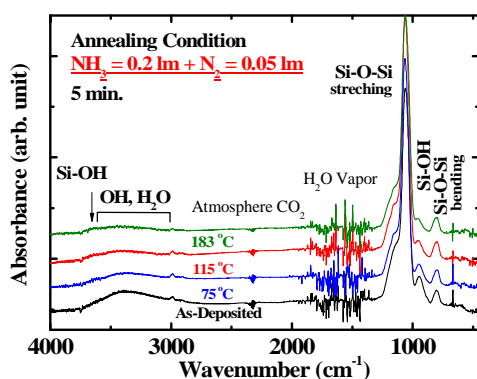


図 9 NH₃ アニール後の FT-IR スペクトル

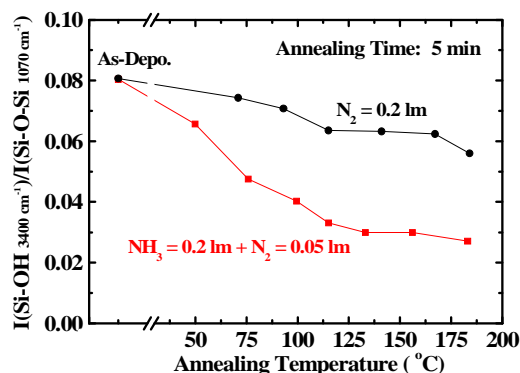


図 10 N₂ 及び NH₃ ガスアニール後の Si-OH/Si-O-Si ピーク強度比のアニール温度依存性

<引用文献> 3) J. W. Klaus et al., “Atomic layer deposition of SiO₂ at room temperature using NH₃-catalyzed sequential surface reactions”, *Suf. Sci.* Vol. 447, pp. 81, 2000.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Susumu Horita, “Highly effective removal of OH bonds in low-temperature silicon oxide films by annealing with ammonia gas at a low temperature of 175 °C”, *Japanese Journal of Applied Physics* , Vol. 58, No. 3, 2019, pp. 038002(1-4), 査読有, IOD: 10.7567/1347-4065/aafb64.
- (2) Susumu Horita and Puneet Jain, “Dependences of deposition rate and OH content on concentration of added trichloroethylene in low-temperature silicon oxide films deposited using silicone oil and ozone gas”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 57, No. 3S, 2018, pp. 03DA02(1-7), 査読有, IOD: 10.7567/JJAP.57.03DA02.
- (3) Susumu Horita and Puneet Jain, “Effect of trichloroethylene enhancement on deposition rate of low-temperature silicon oxide films by silicone oil and ozone”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 56, No. 8, 2017, pp. 088003(1-3), 査読有, IOD: 10.7567/JJAP.56.088003.

[学会発表] (計 14 件)

- (1) 堀田 將, 「NH₃ ガスを用いた酸化 Si 膜残留 OH 成分除去量の低温アニール条件依存性」, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019 年。
- (2) S. Horita, “Reduction of Residual OH Content in a Low-temperature Si Oxide Film at less than 200 °C”, The 25th International Display Workshops(IDW'18) in conjunction with Asia Display 2018, 2018.
- (3) 堀田 將, 「触媒作用による低温酸化 Si 膜中残留 OH 成分の除去」, 薄膜材料デバイス研究会第 15 回研究集会「未来のエネルギー社会に貢献する薄膜技術」, 2018 年。
- (4) 堀田 將, 柳生 瞳, 能木 雅也, 「セルロースナノペーパー (CNP) 上への多結晶 Si-TFT 作製への挑戦 - - - 基盤技術への取り組みについて - - -」, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年。

- (5) 堀田 將、「低温(150oC)アニールによる低温酸化 Si 膜中残留 OH 成分の除去」、第 79 回応用物理学会秋季学術講演会、2018 年。
- (6) 堀田 將、柳生 瞳、能木 雅也、「CNP を被覆したガラス基板上への結晶化 YSZ 薄膜の室温堆積」、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、2018 年。
- (7) Susumu Horita, Jyotish Patidar, Hitomi Yagyu, and Masaya Nogi, “Room-Temperature Deposition of a Crystallized Dielectric YSZ Film on Glass Substrate Covered with Cellulose Nanopaper”, The 24th International Display Workshops(IDW'17) in conjunction with Asia Display 2017, 2017.
- (8) 堀田 將, Jain Puneet, 「トリクロロエチレンによる有機 Si ガス APCVD 低温酸化 Si 膜中の残留 OH 量減少の効果」、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年。
- (9) Puneet Jain and Susumu Horita, “Effect of Trichloroethene (TCE) on Deposition Rate and Film Quality of Low-Temperature SiO₂ Films Grown Using Silicone Oil and Ozone Gas”, The 24th Inter. Workshop on Active-Matrix Flat Panel Displays and Devices (AM-FPD 17), 2017.
- (10) Haque Mayeesha Masrura and Susumu Horita, “Deposition of Yttria Stabilized Zirconia (YSZ) Film on ZEOCOAT® Layer by Reactive Sputtering”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、2017 年。
- (11) Puneet Jain and Susumu Horita, “Trichloroethene Concentration Effect on Deposition Rate and Properties of Low-Temperature Grown SiO₂ Films by using Silicone Oil and Ozone Gas”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、2017 年。
- (12) Puneet Jain and Susumu Horita, “Catalytic Effect of Trichloroethene on Deposition Rate of Silicon Oxides Films Deposited by APCVD Using Silicone Oil and Ozone Gas”, The 23rd International Display Workshops (IDW'16) in conjunction with Asia Display 2016, 2016.
- (13) Puneet Jain and S. Horita, “Effect of Adding Organic Solution on the Deposition Rate and Quality of Silicon Oxide Films using Silicone Oil and Ozone Gas”, 薄膜材料デバイス研究会第 13 回研究集会「スマート社会を支える薄膜デバイス」、2016 年。
- (14) Puneet Jain and Susumu Horita, “Effect of Added Organic Solution on Low-Temperature Deposition of SiO_x Films by APCVD using Silicone Oil and Ozone Gas”, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、2016 年。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：半導体装置の製造方法、基板処理装置及びプログラム

発明者：堀田將、堀井貞義

権利者：株式会社日立国際電気

種類：特許

番号：PCT/JP2017/035241

出願年：2017 年

国内外の別：国内外

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 : <http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/handoutai/horita-lab/horita.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：能木 雅也

ローマ字氏名：Masaya Nogi

所属研究機関名：大阪大学

部局名：産業科学研究所

職名：教授

研究者番号 (8 桁) : 80379031

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。