

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	環境調和型ゼロエミッション次世代半導体配線形成方法の研究開発
研究機関・ 部局・職名	東京工業大学・精密工学研究所・准教授
氏名	曾根 正人

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	97,000,000	97,000,000	8,928	97,008,928	97,008,928	0	0
間接経費	29,100,000	29,100,000	0	29,100,000	29,100,000	0	0
合計	126,100,000	126,100,000	8,928	126,108,928	126,108,928	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	139,965	68,101,012	2,000,748	1,322,327	71,564,052
旅費	0	8,131,001	7,069,656	3,570,913	18,771,570
謝金・人件費等	0	1,239,699	1,441,786	1,526,000	4,207,485
その他	0	701,037	1,289,970	474,814	2,465,821
直接経費計	139,965	78,172,749	11,802,160	6,894,054	97,008,928
間接経費計	41,989	23,452,811	3,565,200	2,040,000	29,100,000
合計	181,954	101,625,560	15,367,360	8,934,054	126,108,928

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
電気化学測定システム	ZPLOT/CORR 1252S 1287S	1	4,989,600	4,989,600	2011/5/19	東京工業大学
シュミレーション用ワークステーション	HPC5000- Z800-SIP	1	1,995,000	1,995,000	2011/8/11	東京工業大学
全自動圧力調整弁	BP-2080	1	714,000	714,000	2011/7/12	東京工業大学
ボックス炉	KBF442N1	1	662,025	662,025	2011/8/31	東京工業大学
小型M-SNP装置	アイテック社製	1	39,900,000	39,900,000	2012/3/16	東京工業大学
単結晶成長装置	東栄科学産業 製	1	15,750,000	15,750,000	2012/3/16	東京工業大学
超臨界CO2送液ポンプ	PU-2080-CO2	1	882,000	882,000	2012/10/23	東京工業大学
マグネトロンスパッタ装置	MSP-1S型	1	628,425	628,425	2013/6/18	東京工業大学

5. 研究成果の概要

二酸化炭素を反応溶媒と洗浄溶媒として利用すると同時に、欠陥のない完全平滑かつ均一な銅配線を微細且つ高密度に配線形成可能とする半導体銅配線形成法が完成した。半導体基板は全面被覆され、基板にあるナノホールパターンは銅により無欠陥で埋め込むことができた。更に埋め込まれた銅の純度は、銅配線に十分に利用可能なレベルである。更に、この銅配線形成法を用いて大面積のホール基板のナノサイズのホールに銅埋め込み配線をするため、流通反応システムが提案されて作成された。

課題番号	GR037
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	環境調和型ゼロエミッション次世代半導体配線形成方法の研究開発
	Research & Development of next generation environmental benign integrated circuit wiring technology toward zero-emission
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東京工業大学・精密工学研究所・准教授
	Tokyo Institute of Technology, Precision and Intelligence Laboratory, Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	曾根正人
	Masato Sone

### 研究成果の概要

(和文):

二酸化炭素を反応溶媒と洗浄溶媒として利用すると同時に、欠陥のない完全平滑かつ均一な銅配線を微細且つ高密度に配線形成可能とする半導体銅配線形成法が完成した。半導体基板は全面被覆され、基板にあるナノホールパターンは銅により無欠陥で埋め込むことができた。更に埋め込まれた銅の純度は、銅配線に十分に利用可能なレベルである。更に、この銅配線形成法を用いて大面積のホール基板のナノサイズのホールに銅埋め込み配線をするため、流通反応システムが提案されて作成された。

(英文): A dense, nano-scale Cu wiring method utilizing supercritical carbon dioxide for electroplating reaction and washing on integrated circuits has been completed. The substrates with nanoscale holes patterns were completely covered by Cu and all of the holes were filled without any voids. Contaminations were evaluated to be possible to apply into Cu wiring. Moreover, a flow reaction system was proposed and fabricated for filling of Cu into nanometer sized holes by this wiring method on large-area hole test substrates.

1. 執行金額 126,108,928 円  
(うち、直接経費 97,008,928 円、 間接経費 29,100,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

本研究開発は、二酸化炭素を利用することで廃液をゼロエミッションとするグリーンイノベーションを達成し、同時に、欠陥のない完全平滑かつ均一な銅配線を微細且つ高密度に配線形成可能とする次世代型高信頼性高効率半導体配線形成法を完成させることを目的とする。具体的には、電気化学的手法と材料組織学的にM-SNPの素反応を解析すると同時に、200mlスケールで超臨界洗浄と超臨界乾燥、M-SNPを連続で実行できる「小型M-SNP装置」を開発し、プロセス工学的な課題を解決し、技術イノベーションとグリーンイノベーションを同時に達成する新技術を完成させる。

4. 研究計画・方法

(1)M-SNP反応のめっき成長制御の研究

M-SNP の二酸化炭素組成比を変化させることで、コンフォーマル成長とボトムアップ成長を制御できることはわかっているが、これを更に反応条件を変え定量的に解析する。

(2)小型 M-SNP 装置の設計及び製作

200mlスケールで超臨界洗浄と超臨界乾燥、M-SNP を連続で実行できる装置の設計を行い、200mlスケールで超臨界洗浄と超臨界乾燥、M-SNP を実行できる全自動型「小型 M-SNP 装置」を作成する。

(3)小型 M-SNP 装置による半導体配線実験

完成した装置で実験を行い、装置のプロセス的問題を明らかにする。

(4)反応容器中の超臨界エマルジョンおよび超臨界二酸化炭素の流体力学的な解析

流体シミュレーションプログラムと得られる銅薄膜パターンを比較し、最適な反応条件を把握する。

(5)電極のマクロおよびミクロな電位分布の解析と結晶成長制御

電極のマクロな電位分布の計算手法を元に、金属の析出と電位分布がどのように相関があるかを明らかにし、皮膜成長を電位分布制御により制御する方法を模索する。

(6)M-SNP プロセスの全プロセスの洗練化

二酸化炭素洗浄とM-SNPの融合を行い、二酸化炭素洗浄がM-SNPに及ぼす影響について操作型電子顕微鏡により解析する。

(7)SNP 法によりセラミックスの電析の開発

SNP 法を用いてニッケル、銅、金、パラジウムの電気化学的析出は成功している。新たに金属

酸化物などのセラミックスの電析を試みる。

(8)量子科学計算を用いた反応解析

めっき溶液構造の量子化学的手法による解析を行う。

(9)めっき皮膜の材料評価法の開発

めっき金属の一部分から10~40マイクロメートルオーダーの角柱試験片、片持ち梁試験片および引っ張り試験片の作成技術を開発し、それらの試験片を用いて本研究室が有している超精密マイクロ材料評価装置による材料評価技術を提案する。

5. 研究成果・波及効果

研究成果

(1)M-SNP反応のめっき成長制御の研究

様々な反応条件でM-SNP表面処理を行い、反応条件と埋込めっきの定量的解析を行った。同時に細孔内の金属結晶組織の解析を行った。この結果、M-SNPの高い段差被覆性や反応条件に対する結晶成長の様式が明らかになった。特に二酸化炭素組成比を変化させることで、コンフォーマル成長とボトムアップ成長を制御できることがわかった。また、M-SNPにおける電気化学反応の基礎的知見「周期的析出特性(PPC)」を提案した。

(2)小型 M-SNP 装置の設計と製作

200mlスケールで超臨界洗浄と超臨界乾燥、M-SNPを連続で実行できる「小型 M-SNP 装置」を開発した。この装置は高圧ガス保安法を遵守した使用となっており、神奈川県で高圧ガス製造装置として認定された。同時に、プロセス工学的な課題を解決し、超臨界 CO<sub>2</sub> 洗浄におけるパターンの密着性や、超臨界 CO<sub>2</sub> エマルジョン洗浄という新しい洗浄を提案した。

(3)小型 M-SNP 装置および50mL スケール装置を用いた半導体配線及び反応解析

アルキル系界面活性剤を用いた場合、電流密度の上昇と共に基板全体の被覆が実現することがわかった。しかし、ナノホールへの銅めっきの埋め込みに関しては、中程度の電流密度側では完全な埋め込みが実現した。更に高電流密度側ではボイドが発生することがわかった。グロー放電分光の結果により、M-SNPにより得られる銅皮膜への不純物濃度は既存の溶液系の銅めっきプロセスと同等であることがわかった。

(4)流体工学及び電位分布における反応シミュレーションと実際の銅めっき被覆の比較

超臨界二酸化炭素エマルジョンの流体力学及び電位分布における反応シミュレーションとアルキル系界面活性剤を用いたナノホール埋込パターンを有する基板への M-SNP めっき被膜形状を比較した。この結果、銅めっき被膜はエマルジョンの流れと電流密度に共に依存すること、低電流密度側では十分な銅めっき被膜の被覆が起こらないこと、および電流密度を増加すると基板全体を覆う銅めっき被膜の被覆が見られることを明らかにした。特に、シミュレーションは流体の流れを

予測可能であるが、電流密度分布との組み合わせが重要である。

(5)M-SNP プロセスの全プロセスの洗練化

本プロジェクトにより、二酸化炭素と水、界面活性剤によってなる二酸化炭素エマルジョン洗淨が開発された。この技術により二酸化炭素のみの洗淨より効果的に洗淨可能であることがわかった。

(6)SNP 法によりセラミックスの電析の開発

SNP 法により高機能セラミックスである酸化スズ、酸化チタン、酸化亜鉛の電気めっきを開発できた。そして、得られた皮膜が通常の電析法と比較し微細で均一な皮膜となることが明らかになった。

(7)量子科学計算を用いた反応解析

本年、6-311G 基底を用いためっき溶液構造の詳細な解析をおこなった。

(8)めっき皮膜の材料評価法の開発

めっき金属の一部分から10~40マイクロメートルオーダーの角柱試験片、片持ち梁試験片および引っ張り試験片の作成技術を開発し、それらの試験片を用いて本研究室が有している超精密マイクロ材料評価装置による材料評価技術を確立した。

6. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計 42 件
計 42 件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Toshikazu Tasaki, Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, "Study on delamination mechanism of SU-8 micropillars on a Si-substrate under bend loading by Weibull analysis", <i>Microelectronics Engineering</i>, Elsevier, Vol. 88, pp. 2132-2134, Jun.2011</li> <li>2. Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, "Function and Mechanism of Supercritical Carbon Dioxide Emulsified Electrolyte in Nickel Electroplating Reaction", <i>Surface &amp; Coating Technology</i>, Vol. 205, pp. 3890-3899, 2011</li> <li>3. Chiemi Ishiyama, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, "Effects of Supercritical Carbon Dioxide Treatment on Bending Propertied of Micro-sized SU-8 Specimens", <i>Microelectronics Engineering</i>, Elsevier, Vol. 88, pp. 2272-2274, Jun.2011</li> <li>4. Tso-Fu Mark Chang, Toshikazu Tasaki, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, ne, to Sone, o Sone, Sone, asaki, of Supercritical Carbon Dioxide oxide emulsions", <i>Microelectronics Engineering</i>, Elsevier, Vol. 88, pp. 2225-2228, Jun. 2011</li> <li>5. Nobuyuki Yoshida, Toshikazu Tasaki, Mark Chang, Akinobu Shibata, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, " Pd-Ni-P metallic glass pattern with controllable microstructure fabricated by electroless alloy plating", <i>Microelectronics Engineering</i>, Elsevier, Vol. 88, pp. 2401-2404, Jun. 2011</li> <li>6. Tso-Fu Mark Chang, Toshikazu Tasaki, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, "Defect-Free Nickel Micro-pillars Fabricated at a High Current Density by Application of Supercritical Carbon Dioxide Emulsion", <i>Industrial &amp; Engineering Chemistry Research</i>, ACS Publications, Vol. 50, No. 13, pp. 8080-8085, Jul.2011</li> <li>7. Yuuki Karasawa, Akinobu Shibata, Masato Sone, Strengthening effect of twin boundaries in bcc crystal evaluated through a micro-bending test, <i>MRS Proceedings</i>, 1297, mrsf10-1297-p10-32, 2011</li> </ol>

<p>8. Takashi Nagoshi, Akinobu Shibata, Masato Sone, Mechanical Behavior on Micro-compression Test in Ultra-low Carbon Steel Produced by High Pressure Torsion, MRS Proceedings, 1297, mrsf10-1297-p10-33, 2011</p> <p>9. Naofumi Naga, Rika Arai, Genzo Kikuchi, Akinori Toyota, Keiichi Noguchi, Masato Sone, Fukiko Shirae, Tomoka Gotoh, Hiromichi Kurosu. Crystalline structure of polyethylene containing vinylene units in the main chain, Polymer, Elsevier, Vol. 52, No. 21, pp. 4857-4866, Oct.2011</p> <p>10. Fumihiro Wakai, Hirotaka Fukutome, Norihiro Kobayashi, Tomoyuki Misaki, Yutaka Shinoda, Takashi Akatsu, Masato Sone, Yakichi Higo. Direct observation of sintering mechanics of a single grain boundary, Acta Materialia, Vol. 60, pp. 507-516, Feb. 2012.</p> <p>11. Hiroki Uchiyama, Tatsuro Endo, Masato Sone, "Direct Observation of Nodule Growth on Electroless Ni-P Deposition in Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion", Journal of the Electrochemical Society, Electrochemical Society, Vol. 59, No. 2, pp. D114-D118, Jan. 2012.</p> <p>12. Chiemi Ishiyama, Toshikazu Tasaki, Tso-Fu Mark Chang, and Masato Sone, "Effects of Specimen Dimensions on Adhesive Shear Strength between a Microsized SU-8 Column and Silicon Substrate", Japan Journal of Applied Physics, Vol.51, No.6, P.06FL19, Jun-2012.</p> <p>13. Nao Shinoda, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone. "Filling of nanoscale holes with high aspect ratio by Cu electroplating using suspension of supercritical carbon dioxide in electrolyte with Cu particles", Microelectronic Engineering, Elsevier, Vol. 97C, pp. 126-129, Aug-2012.</p> <p>14. Hirohito Imamura, Takashi Nagoshi, Akari Yoshida, Tso-Fu Mark Chang, Susumu Onaka, Masato Sone. Evaluation of anisotropic structure in electrodeposited Ni film using micro-sized cantilever, Microelectronic Engineering, Elsevier, Vol. 100 No. C pp. 25-27, Oct-2012.</p> <p>15. Hiromichi Kurosu, Saki Nakanishi, Saori Kimura, Sungmin Kang, Xiaodong Li, Masato Sone, "Solid-state <sup>13</sup>C NMR Study of Banana Liquid Crystals. 1. Two Different Alkyl Tail-Group Packing Environments in the B7 Phase", Journal of Molecular Structure, Elsevier, Vol. 1008, pp. 49-53, Nov-2012.</p> <p>16. 曾根正人, 清水哲也, Tso-Fu Mark Chang. "超臨界ナノプレーティング法の開発と超微細配線への応用", 精密工学会誌, 精密工学会, Vol. 78, No. 12, Dec-2012.</p> <p>17. Tso-Fu Mark Chang, Takashi Nagoshi, Chiemi Ishiyama, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Intact Ultrathin Ni Films Fabricated by Electroplating with Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion", Applied Mechanics and Materials, No.284-287, pp.147-151, Jan-2013</p> <p>18. Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Micro-compression test of nanocrystalline Nickel deposited by supercritical carbon dioxide emulsion", Applied Mechanics and Materials, No.284-287, pp.163-167, Jan-2013</p> <p>19. Tso-Fu Mark Chang, Tetsuya Shimizu, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, "Effects of Pressure on Electroplating of Copper using Supercritical Carbon Dioxide Emulsified Electrolyte", Thin Solid Films, No.529, pp.25-28, Jan-2013</p> <p>20. Nao Shinoda, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, "Cu electroplating using suspension of supercritical carbon dioxide in copper-sulfate-based electrolyte with Cu particles", Thin Solid Films, No.529, pp.29-33, Jan-2013</p> <p>21. Taiki Uemura, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, "Abnormally large Ni grains epitaxially grown by electrodeposition on Cu substrate", Thin Solid Films, No.529, pp.385-388, Jan-2013</p> <p>22. Hiromichi Kurosu, Yumi Endo, Saori Kimura, Tomoko Hashimoto, Motoi Harada, Eun-Woo Lee, Masato Sone, Junji Watanabe, Sungmin Kang, "Solid-state <sup>13</sup>C NMR study of banana liquid crystals 2 : Alkyl tail-group packing environments in the hexagonal columnar phase", Journal of Molecular Structure, No.1040, pp.117-121, Mar-2013</p> <p>23. Eri Shinada, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, "Crystallographic Study on Self-Annealing of Electroplated Copper at Room Temperature [cited by 1]", Materials Science in Semiconductor Processing, 16, 633-639, Apr-2013</p> <p>24. Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Mechanical Properties of</p>
--

	<p>Nickel Fabricated by Electroplating with Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion Evaluated by Micro-Compression Test Using Non-Tapered Micro-sized Pillar”, <i>Microelectronic Engineering.</i>, 110C, 269-272, Jun-2013</p> <p>25. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Quantitative Study on Removal of SU-8 Photoresist Patterns by Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion”, <i>Microelectronic Engineering.</i>, 110C, 204-206, Jun-2013</p> <p>26. Junpei Matsuzaki, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, Yakichi Higo, “Effects of Chemical Components on the Bending Properties of Micro-sized Cantilevers in three types of SU-8”, <i>Microelectronic Engineering.</i>, 110C, 108-111, Jun-2013</p> <p>27. Tso-Fu Mark Chang, Wei-Hao Lin, Yung-Jung Hsu, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Cathodic Deposition of TiO<sub>2</sub> Thin Films with Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsified Electrolyte”, <i>Electrochemistry Communications.</i>, 33, C, 68-71, Jun-2013</p> <p>28. Masahide Mutoh, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Micro-compression test using non-tapered micro-pillar of electrodeposited Cu”, <i>Microelectronic Engineering.</i>, 111, 118-121, Jun-2013</p> <p>29. Rina Khanum, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Control of Pore Structure in Porous Nickel Films Fabricated by Electroplating with Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion”, <i>ECS Electrochemistry Letters.</i>, 2, 10, D43-D44, Jul-2013</p> <p>30. Tetsuya Shimizu, Nao Shinoda, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, “Crystal growth on novel Cu electroplating using suspension of supercritical CO<sub>2</sub> in electrolyte with Cu particles”, <i>Surface &amp; Coating Technology.</i> vol. 231, pp. 77-80, Aug-2013</p> <p>31. Tetsuya Shimizu, Nao Shinoda, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, “Crystal growth on novel Cu electroplating using suspension of supercritical CO<sub>2</sub> in electrolyte with Cu particles”, <i>Surface &amp; Coating Technology.</i>, 231, 77-80, Aug-2013</p> <p>32. Akinobu Shibata, Takashi Nagoshi, Masato Sone, Yakichi Higo, “Micromechanical characterization of deformation behavior in ferrous lath martensite”, <i>Journal of Alloys and Compounds.</i>, 577, S1, 555-558, Oct-2013</p> <p>33. Wei-Hao Lin, Tso-Fu Mark Chang, Yi-Hsuan Lu, Tatsuo Sato, Masato Sone, Kung-Hwa Wei, Yung-Jung Hsu, “Supercritical CO<sub>2</sub>-Assisted Electrochemical Deposition of ZnO Mesocrystals for Practical Photoelectrochemical Applications”, <i>The Journal of Physical Chemistry, C.</i>, 117, 48, 25596-25603, Dec-2013</p> <p>34. 曾根正人, Tso-Fu Mark Chang, 清水哲也, “環境調和型ゼロエミッション次世代半導体配線形成方法の開発”, <i>化学と工業.</i>, 65, 1, 22-27, Jan-2014</p> <p>35. Tso-Fu Mark Chang, Wei-Hao Lin, Yung-Jung Hsu, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Effects of Fluorinated Surfactant in Cathodic Deposition of TiO<sub>2</sub> Films with Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsified Electrolyte”, <i>ECS Electrochemistry Letter.</i>, 3, 4, D1-D2, Jan-2014</p> <p>36. Takashi Nagoshi, Masahide Mutoh, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Sample size effect of electrodeposited nickel with sub-10 nm grain size”, <i>Materials Letters.</i>, 117, 256-259, Jan-2014</p> <p>37. 曾根 正人, TSO-FU MARK CHANG, 清水哲也, “超臨界二酸化炭素エマルションを用いためっき法における欠陥の抑制”, <i>表面技術.</i>, 65, 4, 167-171, Feb-2014</p> <p>38. Tetsuya Shimizu, Yuma Ishimoto, Tso-Fu Mark Chang, Hikaru Kinashi, Takashi Nagoshi, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Cu Wiring into Nano-Scale Holes by Electrodeposition in Supercritical Carbon Dioxide Emulsified Electrolyte with a Continuous Flow Reaction System”, <i>The Journal of Supercritical Fluids.</i>, 60, 60-64, Feb-2014</p> <p>39. Rina Khanum, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Porous nickel films plated in supercritical carbon dioxide emulsified electrolyte using a series of fluorinated nonionic surfactants”, <i>Surface &amp; Coating Technology.</i>, available in electronic file, Jan-2014</p> <p>40. Hikaru Kinashi, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Mechanical Properties of Cu Electroplated in Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion Evaluated by Micro-Compression Test”, <i>Microelectronics Engineering.</i>, 121, 83-86, Feb-2014</p> <p>41. Takashi Nagoshi, Akinobu Shibata, Yoshikazu Todaka, Tatsuo Sato, Masato Sone,</p>
--	---

	<p>”Mechanical behavior of micro-sized pillar fabricated from ultra-fine grained ferrite evaluated by micro-compression test”, Acta Materialia., 73, 12-18, Feb-2014</p> <p>42. Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, ”Fabrication of TiO<sub>2</sub> Micro-Structures by Cathodic Deposition”, Microelectronics Engineering., 121, 80-82, Mar-2014</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 62 件</p>	<p>専門家向け 計 59 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, ”Electrochemical Study on Electroplating with Supercritical Carbon Dioxide Emulsion”, 219<sup>th</sup> ECS Meeting in Montreal, Canada (May 1 - 6, 2011)</li> <li>2. Takashi Nagoshi, Akinobu Shibata, Masato Sone, Yoshikazu Todaka, Uniform elongation of ultra-fine grained steels evaluated by micro-compression tests, MS&amp;T 2011 meeting, 2011/10</li> <li>3. Yuuki Karasawa, Akinobu Shibata, Masato Sone, The mechanical properties of fully nanotwinned alloy with body-centered structure, E-MRS 2011 FALL MEETING, Walsaw, 2011/9</li> <li>4. Takashi Nagoshi, Akinobu Shibata, Masato Sone, Yoshikazu Todaka, The role of grain boundary character distribution on the mechanical behavior of ultra-fine grained ferrite, E-MRS 2011 FALL MEETING, Walsaw., 2011/9</li> <li>5. Nao Shinoda, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, Filling of nanoscale holes with high aspect ratio by Cu electroplating using suspension of supercritical carbon dioxide in electrolyte with Cu particles, MNE2011 Fall Meeting, Belrin, 2011/9</li> <li>6. Taiki Uemura, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, Fabrication method for single crystal Ni micro component by electrodeposition in additive free Watt’s bath, MNE2011 Fall Meeting, Belrin, 2011/9</li> <li>7. Hirohito Imamura, Takashi Nagoshi, Akari Yoshida, Tso-Fu Mark Chang, Susumu Onaka, Masato Sone, Evaluation of anisotropic structure in electrodeposited Ni film using micro-sized cantilever, MNE2011 Fall Meeting, Belrin, 2011/9</li> <li>8. Hirohito Imamura, Takashi Nagoshi, Masato Sone, Mechanical testing of electrodeposited Ni film parallel and vertical to crystal growth direction using micro-sized cantilever specimens, TACT2011,International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</li> <li>9. Tso Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, Effects of Pressure on Electroplating of Copper using Supercritical Carbon Dioxide, TACT2011,International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</li> <li>10. Mark Chang, Tetsuya Shimizu, CHIEMI ISHIYAMA, Masato Sone, Effects of Pressure on Electroplating of Copper using Supercritical Carbon Dioxide, TACT2011,International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</li> <li>11. Tetsuya Shimizu, Nao Shinoda, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, Crystal growth on novel Cu electroplating using suspension of supercritical CO<sub>2</sub> in electrolyte with Cu particles, TACT2011,International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</li> <li>12. Taiki Uemura, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone, Abnormal large grains epitaxially grown in electrodeposited Ni layer on Cu substrate, TACT2011,International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</li> <li>13. Nao Shinoda, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato</li> </ol>



	<p>Sone, Novel Cu electroplating using suspension of supercritical carbon dioxide in copper-sulfate-based electrolyte with Cu particles, TACT2011, International Thin Film Conference, taipei, 2011/11</p> <p>14. Nao Shinoda, Tetuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Akinobu Shibata, Masato Sone. Cu electroplating reaction using suspension of supercritical carbon dioxide in electroplating solution with Cu particles, Taiwan Supercritical Fluid Association (TSCFA), pp. Oct. 2011</p> <p>15. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone. Application of Supercritical Carbon Dioxide Emulsion in Fabrication of Micro-Components for MEMS, Taiwan Supercritical Fluid Association (TSCFA), pp. Oct. 2011</p> <p>16. Masato Sone (Invitation lecture), "Application of Novel Cu electroplating using emulsion of supercritical carbon dioxide into integrated circuit technology", Industrial Technology Research Institute; ITRI, 10/27 2011</p> <p>17. Masato Sone (Invitation lecture), "Metallization using Electrodeposition in Sc-CO<sub>2</sub> Emulsion for Integrated Circuits and next generation MEMS", National Tsing Hua University, 10/27 2011</p> <p>18. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone. Study of Supercritical CO<sub>2</sub> Emulsion in Ni Electroplating and Application in Fabrication of Defect-Free Micromechanical Component with High Aspect Ratio, 2012 TMS Annual Meeting &amp; Exhibition, Materials Processing Fundamentals, pp. Mar. 2012.</p> <p>19. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone. Defect-free ultrathin nickel film fabricated by application of Sc-CO<sub>2</sub> emulsion to control thickness of the diffusion layer, APCChE2012: 14th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, pp. Feb 2012.</p> <p>20. 曾根正人, 超臨界二酸化炭素を用いたマイクロマテリアル作成手法の開発, 第 48 回マイクロマテリアル部門委員会「マイクロマテリアルの製造プロセス」, Jan. 2012.</p> <p>21. Masato Sone. "Metallization method on polymeric materials by electroplating method using supercritical CO<sub>2</sub> toward application into bioelectronics" (Invited Lecture), Biosensors &amp; Bioelectronics-2012, International Conference and Exhibition on Biosensors &amp; Bioelectronics, OMICS Group, Vol. 2, no. 2, p. 61, May-2012.</p> <p>22. 曾根正人, "超臨界二酸化炭素を用いた電気めっき方法における反応制御と装置開発" (招待講演), 反応工学部会 CVD 反応分科会第 15 回シンポジウム, 化学工学会, May-2012.</p> <p>23. 曾根正人, "超臨界二酸化炭素を利用したマイクロマテリアルの精密成形" (招待講演), センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム「機能性材料と新機能デバイスの可能性」, Jul-2012.</p> <p>24. Masahide Mutoh, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone. "Effect of current density on mechanical properties of electrodeposited Cu film evaluated by micro-pillar compression test method", ISE2012, 63rd annual meeting of the International Society of Electrochemistry, Aug-2012.</p> <p>25. Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Donald W. Kirk, Masato Sone. "Periodic-Plating-Characteristic of Electroplating with Supercritical Carbon CO<sub>2</sub> Emulsion", ISE2012, 63rd annual meeting of the International Society of Electrochemistry, Aug-2012.</p> <p>26. Tetsuya Shimizu, Yuma Ishimoto, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Continuous flow reaction system for nanoscale wiring by Cu electroplating using suspension of supercritical CO<sub>2</sub> in electrolyte with Cu particles", 38th International Conference on Micro and Nano Engineering, (MNE2012), Sep-2012.</p> <p>27. Masahide Mutoh, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone. "Micro compression test using non-tapered micro-pillars of electrodeposited Cu", 38th International Conference on Micro and Nano Engineering, (MNE2012), Sep-2012.</p> <p>28. Hirohito Imamura, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Multidirectional strength of micro-sized cantilever composed of columnar grains in electrodeposited Ni, 38th International Conference on Micro and Nano Engineering",</p>
--	--

	(MNE2012), Sep-2012.
29.	Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Evaluation of Mechanical properties of electroplated Nickel", 38th International Conference on Micro and Nano Engineering, (MNE2012), Sep-2012.
30.	Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Quantitative Study on Removal of SU-8 Photoresist Patterns by Supercritical CO2 Emulsion", 38th International Conference on Micro and Nano Engineering, (MNE2012), Sep-2012.
31.	Junpei Matsuzaki, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, Yakichi Higo. "Effects of Chemical Components on the Bending Properties of Micro-sized Cantilevers in SU-8", 38th International Conference on Micro and Nano Engineering, (MNE2012), Sep-2012.
32.	曾根正人, "超臨界二酸化炭素を用いた電気めっき技術とその応用"(招待講演), 表面技術協会 めっき部会, Sep-2012.
33.	Masato Sone, Tetsuya Shimizu, Nao Shinoda, Tso-Fu Mark Chang. "Application of Electrodeposition using Supercritical Carbon Dioxide Emulsion into Integrated Circuit Technology" (Invited Lecture), TSCFA2012, Oct-2012.
34.	Masato Sone, (Invited Lecture), "Electrodeposition using Supercritical Carbon Dioxide Emulsion --Application into Integrated Circuit Technology & Micro Electro Mechanical Systems-", National Taiwan University, Oct-2012
35.	Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Micro-compression test of nanocrystalline Nickel deposited by supercritical carbon dioxide emulsion", ICETI 2012, The 2nd International Conference on Engineering and Technological Innovation, Applied Mechanics and Materials, Nov-2012.
36.	Tso-Fu Mark Chang, Takashi Nagoshi, Chiemi Ishiyama, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Intact Ultrathin Ni Films Fabricated by Electroplating with Supercritical CO2 Emulsion", ICETI 2012, The 2nd International Conference on Engineering and Technological Innovation, Applied Mechanics and Materials, Nov-2012.
37.	Takashi Nagoshi, Yuuki Karasawa, Akinobu Shibata, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Deformation Behavior of Fully Nano-Twinned BCT Material in a Micro-Compression Test", MRS - Fall Meeting 2012, MRS Proceeding, Dec-2012.
38.	Hirohito Imamura, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone. "Deformation behavior of electrodeposited Ni film by using micro-compression test", MRS - Fall Meeting 2012, MRS Proceeding, Dec-2012.
39.	曾根正人, "超臨界二酸化炭素エマルションを用いた Cu 電気めっき法による微細埋込配線技術 (招待講演)", 日本機械学会 関東支部総会講演会, Mar-2013
40.	Wei-Hao Lin, Masato Sone, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Yung-Jung Hsu, "Preparation of Uniform TiO2 Thin Films by Supercritical Carbon Dioxide", 223rd ECS Meeting, May-2013
41.	Masato Sone, Byung-Hoon Woo, Tso-Fu Mark Chang, "Penetration of Ni-P Metal into Polymer by Electroless Deposition Utilizing Supercritical Carbon Dioxide (Invited Lecture)", Biosensors & Bioelectronics-2013., Jun-2013
42.	Takashi Nagoshi, Masahide Mutoh, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Sample size effect of electrodeposited nanocrystalline nickel", Program & Abstracts of International Symposium on Strength of Fine Grained Materials - 60 years of Hall-Petch-, Jun-2013
43.	Masato Sone, Byung-hoon Woo, Tso-Fu Mark Chang, Hiroki Uchiyama, "Application of supercritical carbon dioxide into 3d integration of metal oxide/metal on polymer for biosensor and bioelectronics (Invited Lecture)", Integrative Biology-2013., Aug-2013
44.	曾根正人, "超臨界ナノプレーティングを用いたセラミックス/金属薄膜積層技術 (招待講演)", 新学術領域研究「プラズマとナノ界面の相互作用に関する学術基盤の創成」, Sep-2013
45.	Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Effect of Pressure on Mechanical Properties of Nickel Film Electrodeposited Using Supercritical CO2 Emulsion Evaluated by Micro-Compression Test", MNE2013., Sep-2013
46.	Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, "Fabrication of TiO2 Micro-structure by

<p>Cathodic Deposition”, MNE2013., Sep-2013</p> <p>47. Hikaru Kinashi, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Mechanical Strength of Cu Electroplated in Supercritical CO2 Emulsion Using Micro-Compression Test”, MNE2013., Sep-2013</p> <p>48. Wei-Hao Lin, Tso-Fu Mark Chang, Yung-Jung Hsu, Chun-Yi Chen, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Cathodic Deposition of TiO2 and ZnO with Supercritical CO2 Emulsified Electrolyte”, SuperGreen 2013, The 8th International Conference on Supercritical Fluids., Oct-2013</p> <p>49. Tso-Fu Mark Chang, Takashi Nagoshi, Nao Shinoda, Hikaru Kinashi, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Application of Supercritical CO2 in Electroplating of Ni and Cu”, SuperGreen 2013, The 8th International Conference on Supercritical Fluids., Oct-2013</p> <p>50. Yuma Ishimoto, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Cu Wiring by Electrodeposition in supercritical CO2 Emulsified Electrolyte using Continuous flow reaction system”, TACT2013., Oct-2013</p> <p>51. Wei-Hao Lin, Mana Tanabe, Tso-Fu Mark Chang, Yung-Jung Hsu, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Preparation of ZnO Thin Films by Sc-CO2 Emulsion-Assisted Electrochemical Deposition”, TACT2013., Oct-2013</p> <p>52. Hikaru Kinashi, Tetsuya Shimizu, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Glow discharge optical emission spectroscopic study of Cu film fabricated by electrodeposition using supercritical CO2 emulsified electrolyte”, TACT2013., Oct-2013</p> <p>53. Tso-Fu Mark Chang, Wei-Hao Lin, Yung-Jung Hsu, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Effects of Fluorinated Surfactant in Cathodic Deposition of TiO2 Thin Films with Supercritical CO2 Emulsified Electrolyte”, TACT2013., Oct-2013</p> <p>54. Rina Khanum, Tso-Fu Mark Chang, Takabumi Nagai, Tatsuo Sato, Masato Sone, “Porous Nickel Films Plated in Supercritical Carbon Dioxide Emulsified Electrolyte Using a Series of Fluorinated Nonionic Surfactants”, TACT2013., Oct-2013</p> <p>55. 曾根正人, “平滑な Ni-P 無電解めっき皮膜を実現する前処理手法”, CIC東京新技術説明会., Nov-2013</p> <p>56. 青木拓朗, Tso-Fu Mark Chang, 曾根正人, 小林郁夫, 里達雄, “高濃度鉄を含む Al-Zn-Mg 合金の加工-半熔融成型組織および機械的性質”, 軽金属学会., Nov-2013</p> <p>57. 永井宏明, Tso-Fu Mark Chang, 曾根正人, 小林郁夫, 里達雄, “半熔融鑄造した Al-7% Si-0.6%Mg 合金段付き鑄物材のミクロ組織と機械的性質”, 軽金属学会., Nov-2013</p> <p>58. 名越貴志, 木梨光, 武藤雅英, Tso-Fu Mark Chang, 里達雄, 曾根正人, “マイクロ圧縮試験を用いた銅めっき膜の力学的特性評価”, 日本銅学会第53回講演大会., Nov-2013</p> <p>59. Masato Sone, Tetsuya Shimizu, Tso-Fu Mark Chang, Yuma Ishimoto, Hikaru Kinashi, Takashi Nagoshi, Tatsuo Sato, “Nanoscale Wiring By Cu Electrodeposition in Supercritical Carbon Dioxide (Invited Lecture)”, ECS., Nov-2013</p> <p>一般向け 計3件</p> <p>1. 曾根正人, 「二酸化炭素からエレクトロデバイスを作成する」, 高校生・一般向け講演会「東工大が誇る若手研究者たち」10/1, 2011</p> <p>2. 曾根正人, 「二酸化炭素からエレクトロデバイスを作成する」, 高校生・一般向け講演会「東工大が誇る若手研究者たち」2012年8月30日</p> <p>3. 曾根正人, 「環境にやさしくコーティング-最先端材料を生み出すめっき技術-」, 高校生限定公開講演会「東工大が誇る若手研究者たち」2013年7月26日</p>
--

様式21

<p>図書 計3件</p>	<p>1. 曾根正人, “半導体・MEMSのための超臨界流体技術(近藤英一監修)”, コロナ社, Jun-2012                  2. 曾根正人, “環境調和型ゼロエミッション次世代半導体配線形成方法の研究開発”, 化学工学, 化学工学会, Vol. 76, No. 4, Apr-2012                  3. Masato Sone, Hiroki Uchiyama, Tso-Fu Mark Chang, “Chapter 11: Crystal Growth by Electrodeposition with Supercritical Carbon Dioxide Emulsion”, Advanced Topics on Crystal Growth., vol.11, 335-376, Feb-2013</p>
<p>産業財産権 出願・取得 状況  計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p><a href="http://www.ames.pi.titech.ac.jp/index.html">http://www.ames.pi.titech.ac.jp/index.html</a>  <a href="http://www.ames.pi.titech.ac.jp/">http://www.ames.pi.titech.ac.jp/</a></p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高校生・一般向け公開講演会「二酸化炭素を利用してエレクトロデバイスを作成する」曾根正人(2011.10.1) 東京工業大学大岡山キャンパス・西2号館4階1号室(東工大主催、約55名参加):主に高校生を対象として最先端の科学・技術研究の取り組みをわかりやすく講演し活発な質疑応答を行った。</li> <li>・ 東京工業大学すずかけ祭・研究大公開「触れてみよう!最先端の材料科学」曾根正人(2011.5.15) 東京工業大学すずかけ台キャンパス・R2棟第2セミナー室において、細田秀樹教授、東正樹教授、稲邑朋也准教授と一緒に、主に中学生、高校生を対象として最先端の科学・技術研究の取り組みをわかりやすく講演し活発な質疑応答を行った。</li> <li>・ 「二酸化炭素を利用してエレクトロデバイスを作成する」2012年8月30日 東京工業大学大岡山キャンパス(東工大蔵前会館 ロイヤルブルーホール) 高校生・一般向け公開講演会 参加者37名:主に高校生を対象として最先端の科学・技術研究の取り組みをわかりやすく講演し活発な質疑応答を行った。</li> <li>・ 東京工業大学すずかけ祭・研究大公開「触れてみよう!最先端の材料科学」曾根正人 2012年5月20日 東京工業大学すずかけ台キャンパス・R2棟第2セミナー室において、細田秀樹教授、稲邑朋也准教授と一緒に、主に中学生、高校生を対象として最先端の科学・技術研究の取り組みをわかりやすく講演し活発な質疑応答を行った。</li> </ul>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計2件</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 文教ニュース(第2162号),P32に高校生・一般向け講演会「東工大が誇る若手研究者たち」が掲載</li> <li>・ 文教速報(第7654号),P16に「若手研究者が高校生らに講演」と掲載</li> </ul>
<p>その他</p>	

7. その他特記事項