

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21360046

研究課題名（和文） 電子材料に用いるカーボンナノチューブの高密度電子流による損傷機構解明と強度評価

研究課題名（英文） INVESTIGATION OF DAMAGE MECHANISM AND ESTIMATION OF STRENGTH OF CARBON NANOTUBES AS ELECTRONIC MATERIAL UNDER HIGH-DENSITY ELECTRONIC CURRENT

研究代表者

笹川 和彦（SASAGAWA KAZUHIKO）

弘前大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50250676

研究成果の概要（和文）：本研究は微細電子材料として応用が期待されているカーボンナノチューブ（CNT）を対象として、高密度電流を負荷して意図的に損傷させる加速試験方法を開発し、周囲雰囲気や負荷電流の大小を変化させた実験を実施することにより、高密度電流下でのCNTの損傷メカニズムを解明した。さらに、明らかになった損傷メカニズムを考慮した強度評価法を開発し、実験結果と比較することにより定性的な強度評価の実現に成功した。

研究成果の概要（英文）：Carbon nanotubes (CNTs) are expected to be applied to nano-sized electronic materials. A method of acceleration test to intentionally introduce damage to CNTs was developed by supplying high-density electronic current. Performing the test under various atmospheric and loading conditions the damage mechanism of CNT under electronic current was clarified. Furthermore, an evaluation method of strength of CNT was developed considering the damage mechanism. The evaluated results qualitatively agreed with experimental ones, and the strength of CNT under electronic current was successively evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械材料・材料力学

キーワード：エレクトロマイグレーション，カーボンナノチューブ，電子デバイス，高密度電流，信頼性

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究動向，位置づけ 半導体集積回路では微細高集積化が進み，従来の金属薄膜の微細加工に基づいたプロセスをスケールダウンする一方で，ナノスケール部材の自己組織化に基づいたボトムアップ・アプローチの可能性が追求されている。電子材料のためのナノスケール部材としてカーボンナノチューブ（CNT）が注目され，バンドル化したC

NTによる電子デバイスの配線端子の形成に成功している。これにより，従来の銅あるいはタンゲステンなどの金属を用いた端子よりも強度信頼性が高く，電気的特性も優れた端子が実現できるようになっており，量産化も近い状況にある。

しかし，CNTを用い端子のさらなる微細化を図った場合，端子横断面の狭隘化により電流密度の上昇を来すことから，高密度電

流による損傷が危惧されており、これに対する強度の確保が量産化の鍵となっている。そこで現在、CNT単体における高密度電流下の損傷について国内外で研究がなされている。これまで、ジュール発熱に起因したブレイクダウンによる損傷機構が報告されていたが、これに加え、電子流の衝突に起因した炭素原子の輸送現象、すなわちエレクトロマイグレーション (EM) による損傷機構が最近提案されており、それら機構の優位性について議論されているところである。

本研究は、これら2つの損傷機構を念頭に置きながら、デバイス内におけるCNTの実使用環境、すなわちバンドル構造と雰囲気を考慮することにより、損傷機構の優位性の観点からCNTの損傷機構を解明する実用的研究である。また本研究は、損傷機構の解明研究にとどまらず、さらに踏み込んで損傷に対する強度の評価法について検討、実施する先駆的な研究に位置づけられる。

(2)これまでの成果と着想の経緯、発展内容

CNTの損傷機構として注目されるEM損傷は、これまでの金属薄膜製の配線においても高密度電流下で見られた損傷機構である。研究代表者らはこれまで金属薄膜配線のEM損傷に対する定量的強度評価手法を世界に先駆けて確立しており、国内外の学会においてその功績が認められている(2001年日本機械学会賞、2007年米国機械学会国際会議最優秀論文賞)。本研究では、これまでに開発した強度評価手法の蓄積を基に、実用下CNTの損傷機構について検討するとともに、金属薄膜配線のEM損傷強度評価法を拡張してCNTの強度評価の実施を図る。

2. 研究の目的

本研究は4年計画であり、まず、(1)CNTの電極への設置方法の検討、(2)通電試験条件の検討を行い、実用環境を踏まえたCNTの加速通電試験の実施方法を確立する。その後、(3)損傷過程の形状観察に基づく機構解明を行う。その際(4)ナノスケールの電気特性評価、および(5)ナノスケールの力学的特性評価も併せて行って実用下バンドル状CNTの損傷機構を多角的な観点から検討する。次いで、解明した損傷機構に基づき金属薄膜配線の強度評価法を拡張することにより、(6)CNTの強度評価法の検討を行い、さらに(7)強度評価の実施と(8)評価結果の実験検証を行って強度評価法を構築し、本研究の目的の達成を図る。

3. 研究の方法

(1)CNTの電極への設置方法の検討 ナノストラクチャー(NS)のハンドリング方法の一つである誘電泳動を利用して、CNTを通電試験用電極に設置する方法について検

討する。この方法は、NSを分散させた溶液中に高周波の電場を作用させることによりNS内に分極を生じさせ、電場の勾配方向に働くクーロン力によりNSを所望の位置に移動させるものである。多数のCNTを局所的に集めると同時に、2つの電極間を跨ぐようにCNTを配向させることにより、バンドル化したCNTの設置を実現する。

(2)通電試験条件の検討 電極に設置したCNTに高密度の直流電流を作用させる通電試験を行う。CNTの損傷機構として、ジュール発熱による酸化に起因したブレイクダウンと、電子流の運動量伝達に起因した炭素原子のエレクトロマイグレーション(EM)の双方が報告されている。これらの存在と優位性を検討するための試験雰囲気、環境温度さらに電流密度の条件について検討する。

(3)損傷過程の形状観察 通電試験中の電極間の電圧変化を4端子法により計測する(図1)。これにより電極間に渡したCNTの電気抵抗値変化から損傷の程度を検出する。抵抗値が変化した場合、通電を中断し、走査型プローブ顕微鏡(SPM)によりCNTの形状変化を非接触で観察・計測する。

真空ポンプを装備したチャンバー内で酸素濃度の異なる雰囲気中で通電試験を行い、損傷過程におけるCNTの形状変化をSPMで計測する。併せて電子顕微鏡のEDX成分分析によりCNTの化学成分分析を行う。

(4)ナノスケールの電気特性評価 SPMによる形状観察に加えて、損傷CNTの電気特性を評価する。これには、マイクロ波原子間力顕微(AFM)技術を用いる。これにより、損傷箇所より厳密な特定を行うとともに、損傷による構造変化と電気特性の関連について検討する。

(5)ナノスケールの力学的特性評価 SPM、マイクロ波原子間力顕微鏡観察に加えて、損傷CNTの力学的特性を評価する。これには、集中質量型原子間力顕微(AFM)技術を用

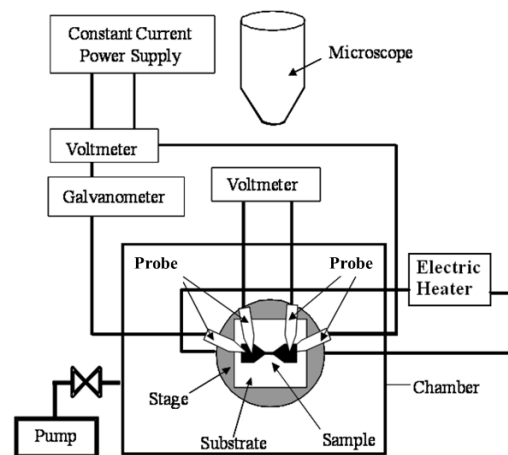


図1 通電用試験装置

いる。これにより、損傷による構造変化と力学的特性の関連について検討する。この計測については計測対象CNTの破損に配慮し、形状、電気特性評価の後に計測を行う。

(6) CNTの強度評価法の検討 前記項目(3)より電流下CNTの損傷機構として、EMに起因した初期損傷が生じ、同損傷箇所が酸化による損傷が複合的に誘起されCNTの損傷が助長されることがわかった。これを踏まえ、これまで研究代表者らが開発してきた金属薄膜配線の強度評価法を拡張することにより、高密度電流下CNTに対する強度評価理論を構築する。EM損傷が初期の損傷機構であったため、まず電子流による原子拡散理論に基づき炭素原子流束の発散量を求める理論式を導出し、同理論式に基づいてEM損傷過程の数値シミュレーション手法を開発する。その後、EM損傷シミュレーションに加えて酸化による損傷機構の数値シミュレーションを連成させた手法の構築に取り組む。これらの手法によりCNTの寿命と損傷箇所の予測を可能にする。

(7) 強度評価の実施 強度評価の実施にあたり数値シミュレーションに用いる物性定数の決定が必要である。そこで、実験的にこれらの物性定数の決定を試みる。特に電子流による炭素原子拡散における活性化エネルギーはEM損傷機構の挙動に大きく影響する。加速通電実験の実施により活性化エネルギー値を推定する。

数値シミュレーションに基づいた強度評価を実施する。この際、環境温度と電流密度の使用環境を変化させた場合の寿命と損傷箇所の予測を行う。使用環境が異なるとジュール発熱に起因してCNTに沿った温度分布が変化するために、酸化によるブレイクダウン機構においては酸化の進行度の分布が、EM損傷機構においては炭素原子の易動度の分布が異なるため、寿命と損傷箇所が変化すると考えられる。

(8) 評価結果の実験検証 項目(7)の強度評価で想定した環境と同様の環境下で通電試験を行い、寿命と損傷箇所について実験結果と評価結果を比較する。これにより評価結果の妥当性を検証するとともに、もし評価結果が異なる場合は誤差の傾向から強度評価法の修正を行う。

4. 研究成果

(1) CNTの電極への設置方法の検討 誘電泳動を利用して、CNTを通電試験用電極間に設置する方法について検討した。微小ギャップを有する金属薄膜電極を作製し、これを用いてCNT分散溶液中に高周波の電場を作用させ、ギャップ間にCNTを移動させた。分散溶液に界面活性剤を適量混入させることにより、また高周波電場の作用時間と集約

量の関係を実験的に調べることにより、再現性よく多数のCNTを局所的に集めることができた(図2)。これにより、バンドル化

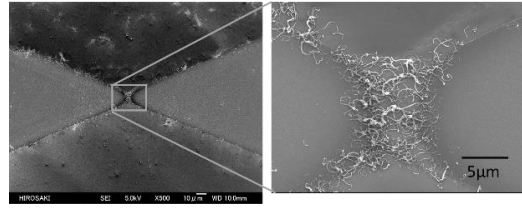


図2 局所的に集約したCNT

したCNTの通電試験片を実現した。

(2) 通電試験条件の検討 電極に設置したCNTに高密度の直流電流を作用させる通電試験を行った。大気中と低真空中の2種類の雰囲気環境下で通電を行った。室温下で作用させる電流密度を調整して断線に至るまで数時間から数日程度となる条件を決定した。室温で同様な電流密度を作用させたにも拘わらず、大気中と低真空中において寿命に大きな差が見られた。CNTの損傷機構として、ジュール発熱による酸化に起因したブレイクダウンの存在が確認され、大気中における優位性が見られた。

(3) 損傷過程の形状観察 通電試験中の電極間の電圧変化を計測した。低真空中において長時間にわたる線形的な電圧上昇がみられた。SPMにより通電後のCNTの形状変化を観察したところ、陰極側の電極付近でCNTの直径減少と消失がみられたことから、EMによる損傷機構の存在が確認できた。

大気中では低真空中と比べて極端に寿命が短くなったが、損傷箇所はいずれも陰極端部であることが確認できた。これらの観察結果より、電流下CNTにおいてEMによる原子空孔の発生・集合が基本的に生じ、次いで同集合箇所において酸化による蒸散などが付加的に生じるため、EMがさらに加速することで大気中での損傷が助長されると考えられた。EMと酸化による損傷機構の存在と酸素雰囲気の違いによるこれらの優位性の変化を明らかにした。

(4) ナノスケールの電気特性評価 マイクロ波の応答が物質の電磁気物性に依存する特徴を利用して、ナノスケール空間分解能を有する高感度なマイクロ波原子間力顕微鏡プローブを新規に開発した。開発した同顕微技術を用いて、ナノサイズワイヤの表面形状およびマイクロ波イメージングの同時計測に成功した。さらに、マイクロ波イメージングからナノワイヤの電気特性を評価する手法を実現した。

(5) ナノスケールの力学的特性評価 集中質量型原子間力顕微技術を用いて損傷CNTの力学特性を評価するためには、接触共振周波数の計測値に及ぼす基板の影響を取り除

く必要がある。そこで、ナノ材料／基板の二層構造弾性体の接触剛性に関する理論モデルを利用し、参照表面に対する接触共振周波数の計測値と併せて、基板の影響を受けることなくナノ材料自身の弾性係数を評価できる手法を開発した。

(6) CNTの強度評価法の検討 前年度までにわかった電流下CNTの損傷機構を踏まえ、高密度電流下CNTに対する強度評価理論の構築を図った。EM損傷が基本的機構であるので、まず電子流による原子拡散理論に基づき炭素原子流束の発散量を求める理論式を導出し、これに酸化による蒸散に起因した原子発散量の理論式を加え、電流下CNTの強度評価パラメータの定式化を行った。これにより、CNTの強度に密接に関連した炭素原子の発散量、すなわち単位時間単位長さ当たりの炭素原子消失数を理論的に求めることができるようになった。

また、定式化した強度評価パラメータ理論式に基づきEMと酸化蒸散の両方の損傷機構を考慮した、電流下CNTの初期損傷過程の数値シミュレーション手法を開発した。有限要素法による電流密度と温度分布の解析結果を同パラメータ理論式に入力することにより、電流下CNTの長さに沿った炭素原子発散量の分布を求めることができるようになった。

(7) 強度評価の実施 項目(6)で開発した数値計算手法により、環境温度と電流密度の使用環境を変化させた場合のCNTの損傷速度と損傷箇所を予測を実施した。実施に当たっては不確定な物性定数が存在するため、次項(8)に記載の実験結果を参考に物性定数の設定を行った。

低環境温度で高密度電流を入力した場合はCNTの中央で、高温下で比較的低い電流密度の場合はCNTの陰極端で損傷し(図3)、低温・高密度電流の方が寿命が短くなる結果が得られた。

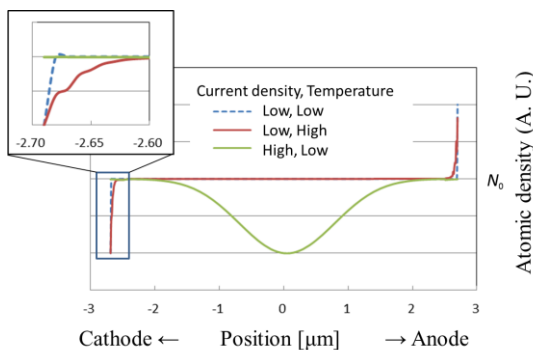


図3 数値シミュレーションによる通電後の原子濃度変化

電流下のCNTではジュール発熱により中央でピークとなる温度分布がCNTに沿

って形成される。入力電流の密度が高い場合にはCNT中央部の温度が過度に上昇し、そこでの酸化が助長され、酸化による蒸散機構が支配的になると考えられた。一方比較的電流密度が小さい場合には、中央部温度のピークが下がることにより酸化蒸散機構は抑えられ、CNT陰極端における電子流入と温度勾配の形成により陰極端でのEMによる損傷機構が支配的になると考えられた。作用する電流密度の大小により損傷箇所が異なる可能性があることがわかった。

本シミュレーション手法の開発により、作用電流と環境温度の違いを考慮して電流下CNTの寿命の概算評価と損傷箇所の予測を可能にした。

(8) 評価結果の実験検証 前項(7)記載の強度評価で想定した環境と同様の環境下で通電試験を行った。寿命にばらつきはみられるものの、評価結果と同様に低環境温度で高密度電流を入力した場合の方が高温下で比較的低い電流密度を入力した場合よりも寿命が短くなった。また低温・高密度電流の場合はCNTの中央で、高温・低電流密度の場合はCNTの陰極端で破断していることが確認できた(図4, 5)。

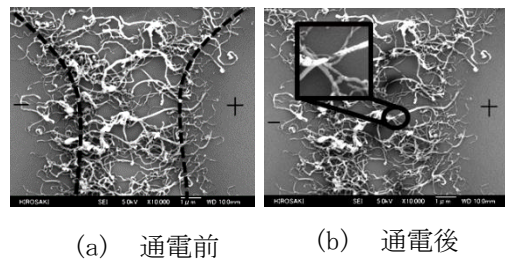


図4 電子顕微鏡観察像(低温・高電流)

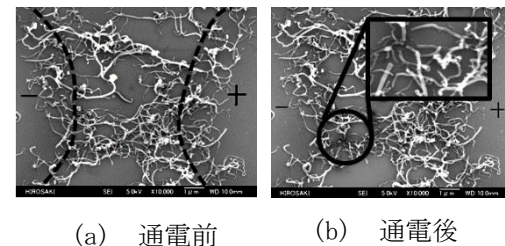


図5 電子顕微鏡観察像(高温・低電流)

試験後の損傷CNTの成分分析を行ったところ、いずれの損傷箇所においても炭素成分の減少と酸素成分の増加がみられたため、酸化蒸散機構はいずれの場合も機能しているが、EMと酸化蒸散の損傷機構の優劣で寿命と損傷箇所が変化すると考えられた。

本強度評価法により損傷機構を的確に考慮してCNTの損傷を定性的にはあるが、予測することに世界で初めて成功した。今後は、損傷理論の高度化と物性定数の適切な設定により強度評価精度の向上を行う。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① K. Sasagawa, K. Fujisaki, J. Unuma and R. Azuma, Experimental Study of Damage Mechanism of Carbon Nanotube as Nano-Component of Electronic Devices under High Current Density, Proceedings of ASME InterPACK2013 (CD-ROM), 査読有, 2013, Paper ID: InterPACK2013-73130 (total 5 pages) 掲載決定
- ② K. Sasagawa, T. Fujisaki and T. Yanagi, Numerical Study of Allowable Current Density for Electromigration Damage of Multilevel Interconnection in Integrated Circuit (Keynote Lecture), Proc. 13th Int. Conf. Fracture, 2013 (CD-ROM), 査読有, Paper No. S30-008. (total 8 pages) 掲載決定
- ③ Y. Toku, K. Kobayashi and M. Muraoka, Repositioning Technique in Nanowire Manipulation by Oscillating Gripper, Micro & Nano Letters, 査読有, 2013, 掲載決定
- ④ K. Sasagawa, T. Yanagi and J. Unuma, Evaluation of Threshold Current Density in Interconnect with Reservoir Structure Using Numerical Modeling of Electromigration Damage, Proc. 7th Int. Symp. on Advanced Science and Technology in Exp. Mechanics (USB Memory), 査読有, 2012, G101(4 pages)
- ⑤ L. Zhang, Y. Ju, A. Hosoi and A. Fujimoto, Microwave Atomic Force Microscopy: Quantitative Measurement and Characterization of Electrical Properties on the Nanometer Scale, Applied Physics Express, 査読有, Vol. 5, 2012, 016602-1-3
DOI:10.1143/APEX.5.016602
- ⑥ K. Sasagawa, J. Unuma and T. Abo, Effect of Oxygen Concentration on Damage Mechanism of Carbon Nanotubes under High Current Density, Proc. ASME InterPACK2011 (CD-ROM), 査読有, 2011, InterPACK2011-52169(total 5pages)
- ⑦ K. Sasagawa and J. Unuma, Change in Damage Mechanism of MWCNTs under Electric Current with Oxygen Concentration, Proc. 13th International Conference on Electric Materials and Packaging(USB flash memory), 査読無, 2011, 69-72
- ⑧ A. Fujimoto, L. Zhang, A. Hosoi and Y. Ju, Structure Modification of M-AFM Probe for the Measurement of Local Conductivity, Microsystem Technologies, 査読有, Vol. 17, 2011, 715-720
DOI: 10.1007/s00542-010-1175-9
- ⑨ L. Zhang, Y. Ju, A. Hosoi and A. Fujimoto, Enhancement of Sensitivity for the Evaluation of

Electrical Properties by Modifying the Nano Structure of Microwave AFM probe, Mater. Sci. Forum, 査読有, Vols. 675-677, 2011, 555-558

- ⑩ M. Muraoka and S. Komatsu, Characterization of Films with Thickness Less than 10 nm by Sensitivity-Enhanced Atomic Force Acoustic Microscopy, Nanoscale, Res. Lett., 査読有, Vol. 6, 2011, 33(1-6)
- ⑪ M. Muraoka, Nanomachining by Rubbing at Ultrasonic Frequency under Controlled Shear Force, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, Vol. 11, 2011, 1986-1990
- ⑫ K. Sasagawa, A. Kirita, S. Fukushi and M. Saka, Simulation of Nanostructure Production by Electromigration Considering Specimen's Shape, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, Vol. 10, 2010, 6036-6040
- ⑬ L. Zhang, Y. Ju, A. Hosoi and A. Fujimoto, Microwave Atomic Force Microscopy Imaging for Nanometer-Scale Electrical Property Characterization, Rev. Sci. Instrum., 査読有, Vol. 81, 2010, 123708-1-4
- ⑭ K. Sasagawa, S. Fukushi, Y. Sun and M. Saka, A Numerical Simulation of Nanostructure Formation Utilizing Electromigration, J. Electron. Mater., 査読有, Vol. 38, 2009, 2201-2206

[学会発表] (計 16 件)

- ① 笹川和彦, 微細電子配線の安全性評価と生体の応力評価, 日本非破壊検査協会 東北支部「支部会・講演会」(招待講演), 2013年04月26日, 青年文化センター(仙台市)
- ② 笹川和彦, 材料システムとしての電子機器安全性と生体機能性の評価, 平成24年度日本材料学会東北支部総会・材料フォーラム講演会(招待講演), 2013年03月25日, カレッジプラザ(秋田市)
- ③ 東 亮汰, 笹川和彦, 藤崎和弘, 鶴沼 潤, 高密度電流下でのカーボンナノチューブの強度に及ぼす周囲環境の影響, 日本機械学会東北学生会 第43回学生会員卒業研究発表講演会, 2013年03月11日, 一関工業高等専門学校(一関市)
- ④ 趙 旭, 坂 真澄, 成長環境が及ぼすマイクロ/ナノ材料の原子拡散に基づく形状形成への影響, 日本機械学会第20回機械材料・材料加工技術講演会, 2012年11月30日~2012年12月02日, 大阪工業大学(大阪市)
- ⑤ K. Sasagawa and T. Yanagi, Evaluation of Threshold Current Density in Interconnect with Reservoir Structure Using Numerical Modeling of Electromigration Damage, 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2012年09月25日~2012年09月27日, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan)
- ⑥ K. Sasagawa and J. Unuma, Change in Damage Mechanism of MWCNTs under Electric

Current with Oxygen Concentration, 13th International Conference on Electric Materials and Packaging, 2011年12月13日, Kyoto Garden Palace, Kyoto

⑦ 鶴沼 潤, 阿保雄大, 笹川和彦, 五明利雄, プリント基板 Cu 配線のエレクトロマイグレーション損傷に関する物性定数の導出 (日本非破壊検査協会新進賞受賞: 鶴沼 潤), 日本非破壊検査協会 平成 23 年度秋季講演大会, 2011年10月18日, 淡路夢舞台国際会議場 (淡路市)

⑧ K. Kobayashi, Y. Toku and M. Muraoka, Manipulation of Nanowires by Chopsticks, Int. Conf. on Advanced Technology in Experimental Mechanics, 2011年9月21日, Kobe Int. Conf. Center, Kobe

⑨ 鶴沼 潤, 笹川和彦, 阿保雄大, 高密度電流下におけるカーボンナノチューブの損傷機構に関する研究, 日本機械学会 M&M2010 材料力学カンファレンス, 2010年10月10日, 長岡技術科学大学 (長岡市)

⑩ 笹川和彦, 電子デバイスと生体の材料システムを評価する, 平成 22 年度 化学系学協会東北大会 (招待講演), 2010年9月26日, 岩手大学工学部 (盛岡市)

⑪ 阿保雄大, 笹川和彦, ツリー構造配線のエレクトロマイグレーション損傷しきい電流密度における配線形状の影響 (日本機械学会若手優秀講演フェロー賞受賞: 阿保雄大), 日本機械学会東北支部第 46 期秋季講演会, 2010年9月24日, 秋田大学 (秋田市)

⑫ H. Tohmyoh, M.A.S. Akanda, M. Saka, A Microscope System for Characterization of Mechanical Properties of Small-Scaled Objects, ESTC2010 Conference, 2010年9月15日, Maritim proArte Hotel, Berlin, Germany

⑬ 張 嵐, 巨 陽, 細井厚志, 藤本紹文, Modifying the Structure of Microwave AFM Probe for Improving the Sensitivity in the Measurement of Electrical Properties, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010年9月6日, 名古屋工業大学 (名古屋市)

⑭ 笹川和彦, 阿保雄大, 鶴沼 潤, 高密度電流下におけるカーボンナノチューブ損傷に対する雰囲気環境の影響, 日本機械学会東北支部第 45 期総会・講演会, 2010年3月12日, 東北大学 (仙台市)

⑮ 徳 悠葵, 村岡幹夫, ナノワイヤの真性ひずみ誘起曲げ加工条件の実験的検討, 2009 年度精密工学会東北支部学術講演会, 2009年11月28日, 日本大学 (郡山市)

⑯ Y. Ju, Development of a Nanostructural Microwave Probe for Atomic Force Microscopy, International Symposium on Precision Engineering and Micro/Nanotechnology 2009 (Keynote Lecture), 2009年10月29日, Zhejiang University, Hangzhou, China

〔図書〕 (計 1 件)

① M. Muraoka, Springer, Heidelberg, Acoustic Scanning Probe Microscopy, eds. F. Marinello, D. Passeri, E. Savio (担当: Chapter 7: Enhanced Sensitivity of AFAM and UAFM by Concentrated-Mass Cantilevers), 2013, 39 頁

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: ビア接続の多層配線の信頼性を評価する信頼性評価シミュレーションプログラム, ビア接続の多層配線の許容電流密度向上方法およびビア接続の多層配線

発明者: 笹川和彦

権利者: 弘前大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-1966681

出願年月日: 2012年09月06日

国内外の別: 国内

〔その他〕

JST と NEDO が主催するイノベーションジャパン大学見本市 (東京国際フォーラム) に, 「高密度電流の流れる電子デバイス配線の信頼性評価法」(2009 年), 「高密度電流がもたらす電子配線損傷の信頼性評価法」(2010 年), 「バーチャルリアリティ実現のための接着型触覚センサ (に併設)」(2012 年)と題して出展し, 研究成果を広く社会に公表した。

エレクトロニクス実装学会主催の「第 22 回 マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 秋季大会 (大阪府立大学, 2012 年)」の大学研究室紹介コーナーにおいて, 電子機器メーカーの研究者に研究成果の紹介を行った。

研究室のホームページに研究内容を記載し, 公開している。

(<http://www.mech.hirosaki-u.ac.jp/~sasagawa/labhp/>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹川 和彦 (SASAGAWA KAZUHIKO)

弘前大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 50250676

(2) 研究分担者

村岡 幹夫 (MURAOKA MIKIO)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・教授

研究者番号: 50190872

巨 陽 (JU YANG)

名古屋大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 60312609

坂 真澄 (SAKA MASUMI)

東北大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 20158918