

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24651160

研究課題名(和文) 導電コア高分子ファイバーによる同時多極マイクロ導通センシングデバイス

研究課題名(英文) Simultaneous-and-multiple micro-sensing device for inspection of conductivity by polymer fiber having conductive core

研究代表者

齋藤 滋規 (Saito, Shigeki)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：30313349

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、半導体集積回路(IC)や微小電子機械(MEMS)などにおけるマイクロ領域の導通テストを同時多極に可能にするセンシングデバイスを開発することを目的として開始されたが、全期間にわたる研究活動を通じて、同時多極マイクロセンシングデバイスの可能性は、導通デバイス以上に表面電位計測にあるという理解に至った。そのため、後半においては、対象物体の表面電位分布計測に焦点を絞り、「表面電位計測時における走査型プローブの複数本化によるプローブ間静電力の影響」について検討を重ね、プローブの複数化(同時多極化)を行った際の複数プローブ表面電位計測値の較正法についての知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：This project started with the scope of development of micro-sensing device to simultaneously investigate the conductivity of multiple-electrodes of Integrated-Circuit (IC) or Micro-electro-mechanical systems (MEMS). However, throughout the research activities in the whole period, it has turned out that with the same mechanisms and/or structures, the usage as the device for measuring the surface potential of the specimen should be more feasible and effective rather than that for the conductivity. Thus, in the last research period, focusing on the usage of simultaneous measurement of the surface potential, the influence of mutual electrostatic interaction among multiple probes has been investigated, and then the calibration method to reduce the excessive influence is suggested according to the experimental and theoretical discussions.

研究分野：微細作業工学

キーワード：表面電位 マイクロセンシング 同時多極

1. 研究開始当初の背景

半導体集積回路 (IC) 技術は、多くの場面で我々の生活を支えている。更なる高機能化のため高密度化に対する大きな需要があり、製造技術における革新が常に求められるが、(高密度化にともなう) 素子数増大によって不良素子や導通不良などの欠陥出現率が IC の製造歩留低下を引き起こす大きな問題として顕在化した。そのため、大量かつ高効率な半導体導通センシング技術開発の必要性が認識されるようになった。代表者らは、これまでに「ヤモリに学ぶ静電誘導ファイバ植毛による凝着・離脱デバイス」の開発に携わってきた。その開発の重要部分である静電誘導ファイバ(導電性コアを持つ高分子ファイバ)を試作・性能評価する過程で、同技術を活用し、応用することで、導通センシング用の導電コア高分子ファイバプローブを開発する着想に至った。さらに、それを集積配置することにより同時多極マイクロ導通センシングデバイスを開発することに思い至った。

2. 研究の目的

本研究では、半導体集積回路(IC)や微小電子機械(MEMS)などにおけるマイクロ領域の導通テストを同時多極に可能にするセンシングデバイスを開発することを目的とする。具体的には、半導体シリコンウエハなどの表面上に高密度に作成された電極などに対して、凹凸や高低差がある場合にでも対応できるように機械的なコンプライアンス(柔らかさ)を持った導通センシング用の導電コア高分子ファイバプローブを開発し、それを用いて同時多極マイクロ導通センシングデバイスを実現することにある。これにより、マイクロ領域の導通テストが高効率で可能になり、IC や MEMS などの生産性の劇的な向上が期待される。

3. 研究の方法

研究の方法は、段階を経て、下記の3つのサブテーマに絞って進められた。なお、研究を進める過程において、高分子材料に限定しない研究開発を行うことが重要であるという認識に至った。

1. 電気的な同時多極センシングへ向けた柔軟プローブの設計可能性

まず、一本の柔軟プローブの電気的特性・機械的特性と電極先端寸法およびプローブの梁剛性についての関係について研究を行った(図1)。

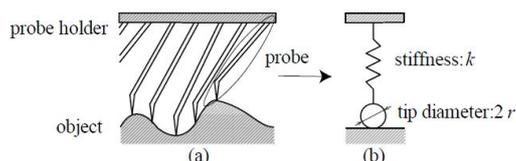


図1: プローブ梁剛性と先端曲率[1]

電極先端の接触部分については、先端における凝着仕事を考慮しないHertz理論と凝着仕事を考慮するJKR理論の両面から検討を行い、導電性との関連を検討した(図2)。

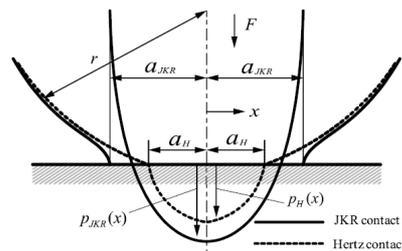


Fig.2:Hertz 理論と JKR 理論[1]

2. フォトリソグラフィを用いた曲面对応複数電極プローブの開発

電極プローブの複数本化の実現のために、曲面对応可能な電極プローブにおいて、フォトリソグラフィ技術を用いて試作を行った(図3)。

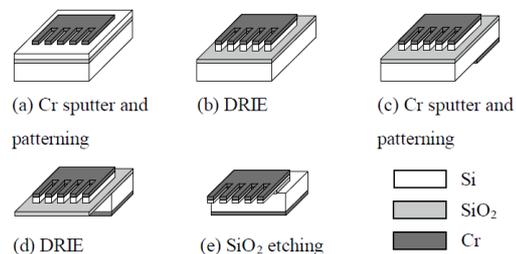


図3: リソグラフィ技術による複数電極プローブの製作事例

3. 表面電位計測時における走査型プローブの複数本化によるプローブ間静電力の影響

導通デバイスとしての応用に加えて、表面電位計測についての応用可能性を検討するために、プローブを複数本化した状況で、各プローブによる表面電位の計測値が、他のプローブの計測値にどのように影響を与えるのかについて、実験的に検証を行った(図4)。

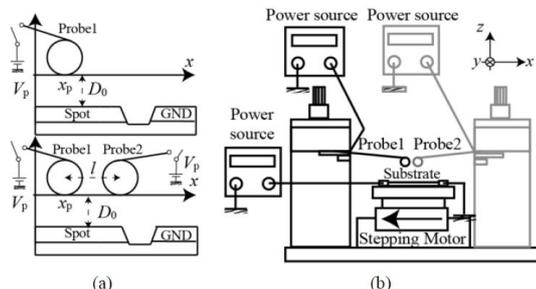


図4: 複数プローブにおける表面電位計測値の較正に関する実験装置概要

4. 研究成果

研究成果は、各サブテーマに沿って、下記

のとおりまとめられる．

1. 電気的 simultaneous 多極センシングへ向けた柔軟プローブの設計可能性

図5に示す実験装置によって、微小荷重下における変位-荷重-電気抵抗測定実験を行った．実験により、プローブの基盤へ接触する前後における変位 d 、荷重 F 、電気抵抗 R を測定する．市販のプローブでは先端曲率半径 r が小さく十分な凝着力の発生が期待出来ない．また剛性が高いため変位に対する荷重の変化が大きくなってしまい、想定する荷重の分解能が得られない．以上より、先端曲率半径 r を大きくしたラージモデルの片持ち梁型プローブを製作し実験を行った．プローブの片持ち梁部は素材が超弾性線材で、形状が断面は半径 $150\mu\text{m}$ 、長さが 35mm の円柱である．先端部の素材が鋼の球で半径 r は $1000\mu\text{m}$ と $2500\mu\text{m}$ であり、表面の処理に金スパッタを行った．片持ち梁部と先端部は導電性のペーストで接着した後に、変形しないようエポキシ系の接着剤で覆った．プローブを接触させる基板にはマイクロスライドガラス(松浪硝子工業-S1127)の上に金スパッタしたものをを用いる．変位は分解能 $1\mu\text{m}$ のステップモーターで与えた．荷重の測定には分解能 0.01mgf の電磁誘導式分析電子天秤を用いた．電気抵抗の測定にはエレクトロメータ(ADVANTEST-R8552)を用い、 $100\mu\text{A}$ の定電流を流した時の2端子式の電圧降下法で測定する．この際、接触部にかかる電圧を 50mV 程度にするため、保護抵抗 510Ω を並列に配置した．計測中はマイクロコープ(HIROX-KH1300)で先端を撮影している．

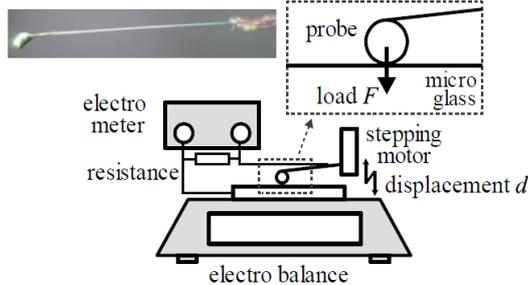


図5: 微小荷重下における変位-荷重-電気抵抗測定実験の概要

測定はプローブを基板に近づけた状態から、変位 d を 8 秒間隔で与えた．先端曲率 $1000\mu\text{m}$ のプローブで合計 $100\mu\text{m}$ と $500\mu\text{m}$ の変位を与え、先端曲率 $2500\mu\text{m}$ のプローブで合計 $500\mu\text{m}$ と $2000\mu\text{m}$ の変位を与えている．

曲率半径 $r1000\mu\text{m}$ と $r2500\mu\text{m}$ の各プローブの凝着力は凝着仕事 $\Delta\gamma$ を 0.1N/m とすると、それぞれ $471.2\mu\text{N}$, $1178.1\mu\text{N}$ となる．図6,7に実験によって求めた各計測の変位 d 、荷重 F 、電気抵抗 R 、と凝着力 F_{ad} を示す．このとき、変位 d の $0\mu\text{m}$ は荷重の変化開始点とした．

接触荷重として凝着力を下回る領域と上

回る領域の2種において実験を行ったが、どちらにおいても凝着力より低い荷重値で電気抵抗が急減し導電性が得られた．1つの計測点間で電気抵抗 R の急減が発生していることより、今回は導電する境界が見えてはならず、より高い分解能で実験を行うことが必要であると示唆される．

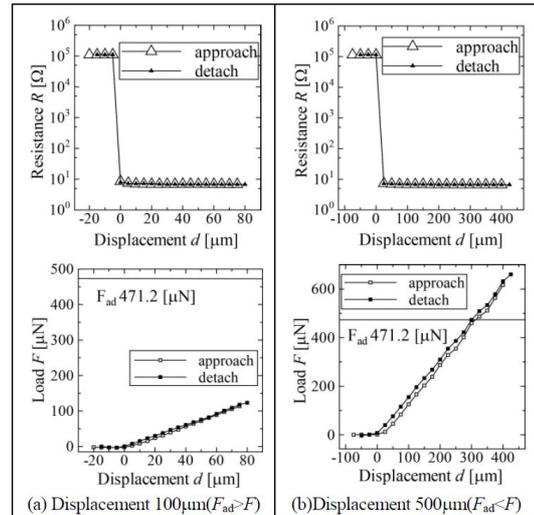


図6: 先端曲率半径 $r1000\mu\text{m}$ の場合のフォースカールと接触抵抗変化の様子

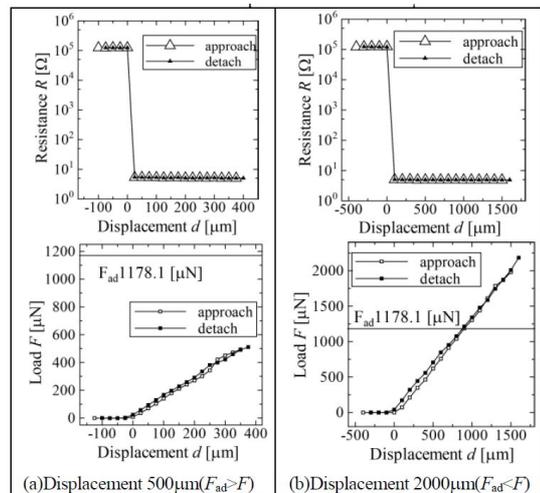


図7: 先端曲率半径 $r2500\mu\text{m}$ の場合のフォースカールと接触抵抗変化の様子

2. フォトリソグラフィを用いた曲面对応複数電極プローブの開発

図8に示すように、リソグラフィ技術を用いて、曲面对応プローブ複数プローブの試作を行い、先端径が数 $10\mu\text{m}$ の複数電極プローブのアレイを製作可能であること示した．

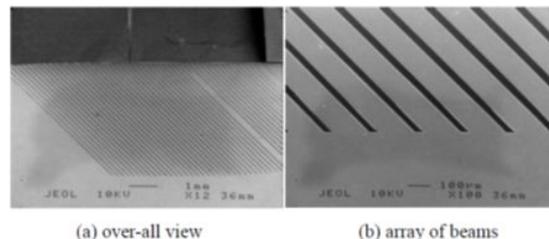


図8: 曲面对応複数電極プローブ製作例

さらに、図9に示すように、曲面に対して、複数電極プローブが柔軟に対応している様子を確認することができた。

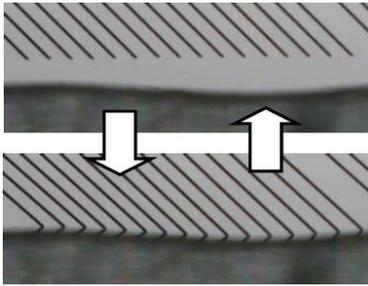


図 9: 複数電極プローブが曲面に対応する様子

3. 表面電位計測時における走査型プローブの複数化によるプローブ間静電力的影響

表面電位測定時における1本と2本のプローブの変位を確認するため、ラージモデルによる実験を行った(図10)。Ti-Ni合金形状記憶合金を線形弾性梁(ばね定数 k)として用い、その先端にタングステン球(半径 $R=500\mu\text{m}$)を取り付け図10(a)に示すプローブを作成した。ここで、ばね定数は3種類の重りをプローブ先端に吊り下げた時のプローブ変位の計測を3回ずつ計9回行うことで同定した。実験では2本のプローブを使用するためそれぞれのばね定数を k_1 、 k_2 とすると、 $k_1=0.0114\text{N/m}$ 、 $k_2=0.0153\text{N/m}$ であった。測定対象として市販プリント基板に半径 $r_{\text{spot}}=5000\mu\text{m}$ の円の円周上をドリルで切削し、図10(b)に示すスポット面と接地面を作成した。また、電圧印加のためのリード線も切削により作成した。図10(c)にドリル切削部の断面図を示す。

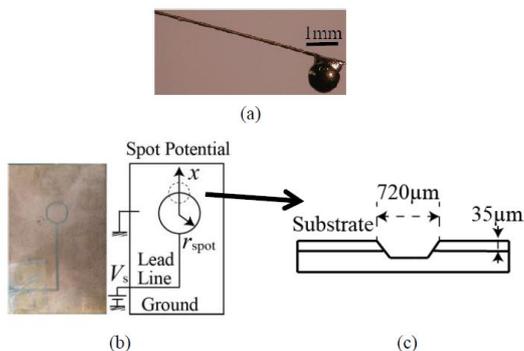


図 10: 実験用ラージモデル電極プローブと電位分布面

1本での実験手順は、図4(a上)に示すように、スポット面中心を基準とし、初期プローブ座標 $x_p=2000\mu\text{m}$ において球-基板初期間隔を $D_0=540\mu\text{m}$ とする。プローブに電圧 $V_p=250\text{V}$ 、スポット面に電位 $V_s=100\text{V}$ を印加する。電圧印加後のプローブ-基板間隔 D_1 をマイクロSCOPEで観測する。観測後、基

板をステップ幅 $150\mu\text{m}$ で動かし、1ステップごとにプローブ-基板間隔 D_1 を観測する。観測は $x_p=9050\mu\text{m}$ まで行った。実験後、マイクロSCOPE観測画像から変位を測定した。

2本の実験においては、図4(a下)に示すようにプローブを向い合せでプローブ間の間隔 $l=1500\mu\text{m}$ となるように配置した。実験手順は、1本についての実験同様に、プローブ1の初期座標 $x_p=2000\mu\text{m}$ において、2つの球-基板間隔 $D_0=540\mu\text{m}$ とする。2本のプローブに電圧 $V_p=250\text{V}$ 、スポット面に電位 $V_s=100\text{V}$ を印加する。電圧印加後、プローブ1-基板間隔 D_1 と、プローブ2-基板間隔 D_2 を観測する。その後は1本についての実験手順と同様にして、プローブ1の座標 $x_p=9050\mu\text{m}$ まで実験を行う。図4(b)に実験の全体図を示す。

実験結果を図11に示す。プローブ1を用いた1本のプローブの変位、プローブ1とプローブ2を用いた2本での実験におけるプローブ1の変位の値をプローブ位置 x_p とともに表す。実験値からプローブ変位について1本と2本で変位に差があることが確認できる。さらに1本、2本どちらの測定結果もプローブがスポット面から接地面上に移動するにつれてプローブの変位が大きくなることを確認できる。

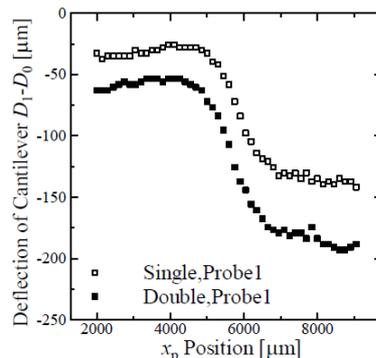


図 11: 単独プローブと複数プローブの影響が有る場合の比較

これらの研究結果を通して、マイクロ領域の導通テストを同時多極に可能にするセンシングデバイス開発に関する基礎的な知見を得ることができた。

今後は、プローブ剛性と先端における曲率半径の最適化に関して知見をさらに深めながら、表面電位観察への応用へも視野に入れた研究開発を進めることが期待される。

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

二階堂翔一、高橋邦夫、齋藤滋規、" 電氣的な同時多極センシングへ向けた柔軟プローブの設計可能性 ", 2013年精密工

学会春季大会学術講演会講演論文集，
Vol.2013S，pp.135-136，2013.

猿渡達彦，Dhelika Radon，Hemthavy
Pasomphone，高橋邦夫，田口良広，齋藤
滋規，” フォトリソグラフィを用いた曲
面対応静電チャックの開発 ”，2015年精
密工学会春季大会学術講演会講演論文集，
Vol.2015S，pp.805-806，2015.

大善俊明，井口洋二，藤原亮，パソムポ
ーン・ヘムタビー 高橋邦夫 齋藤滋規，”
表面電位計測時における走査型プローブ
の複数本化によるプローブ間静電力の影
響 ”，2016年精密工学会春季大会学術講
演会講演論文集，Vol.2016S，pp.503-504，
2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 滋規 (SAITO Shigeki)
東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：30313349

(2) 研究分担者

鞠谷 雄士 (KIKUTANI Takeshi)
東京工業大学・理工学研究科・教授
研究者番号：70153046

高橋 邦夫 (TAKAHASHI Kunio)
東京工業大学・理工学研究科・教授
研究者番号：70226827