

片側電極を適用した電気粘着ピラーアレイに関する基礎的研究

慶應義塾大学理工学部 ○西村涼, ◎柿沼康弘

要旨

近年、電子機器の小型・高性能化に伴い、高能率な微小部品の搬送技術が求められている。本研究では、電場に応じて表面の粘着性が変化する電気粘着ゲル(EAG)を微小部品の搬送デバイスへ応用することを目指した。具体的にはEAG表面に微細な凹凸を施した電気粘着ピラーアレイに片側電極を適用した微小部品固定素子を提案した。これにより導体だけでなく半導体や絶縁体の微小部品のハンドリングも可能になることを確認した。

1. 結論

機能性材料の1つである電気粘着ゲル(Electro-Adhesive Gel:以下、EAG)は外部からの電場印加により表面の粘着特性を瞬間的かつ可逆的に変化させることができる。この特性から、EAGの固定デバイスへの適用が検討されてきた。しかし、EAGの粘着面にはバラつきがあり、微小な固定対象物の粘着固定には適さなかった[1]。そこでEAGの粘着面を限定した電気粘着ピラーアレイ(Electro-Adhesive Pillar Array:以下、EAPA)を開発した。このEAPAに片側電極を適用することで、近年需要が高まる微小部品のハンドリングに応用することを目指した。そのために本研究では片側電極を適用したEAPAを作製し、形状と固定性能を評価した。

2. EAPAの概要

図1に示すようにEAPAはEAG表面に規則的な微細構造を施したもので、対象物との接触面をピラー上部に限定する。表面にはEAピラーが規則的に配列しており、個々のピラーは多くのER粒子を含有している。そのため電場印加時、ピラー内部の粒子は粒子間引力によりお互い引き合い、分散媒であるゲルを外側に押し出す。これによりピラー上部でゲルが対象物と粘着し、対象物を固定する。本研究では微小部品を粘着固定することを目指し、マイクロスケールのEAPAを作製した。

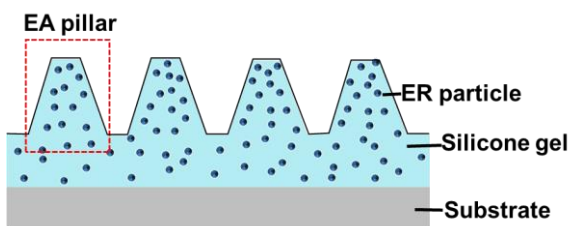


図1 EAPAの概要図

3. 片側電極の概要

従来の両側電極を適用したEAPAでは電場を印加するにあたりEAPA基板と固定対象物の両方に電位差を与える必要があった。そのため固定対象物は導体に限定され、対象物への配線を施す必要があった。一方、片側電極構造では図2に示すように、片側電極基板への電位付与だけでEAPA内部に電場を印加することが可能である。このため片側電極をEAPAに適用することで固定対象物への配線が不要となり、導体以外の対象物を固定できる。

図3に本研究で設計した片側電極パターンを示す。各ピラーに異なる電場を印加できるように、陽極を陰極が囲む電極構造を提案した。ピラーを陽極上に作製することでEAPAのピラー頂点付近に電場を印加することが可能である。

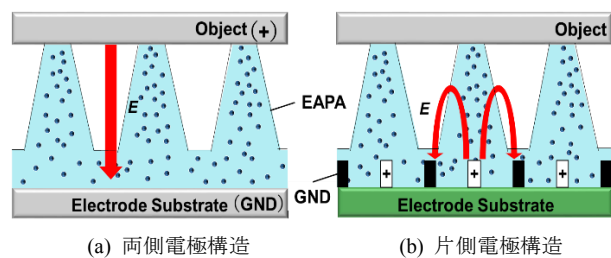


図2 EAPAの電極構造

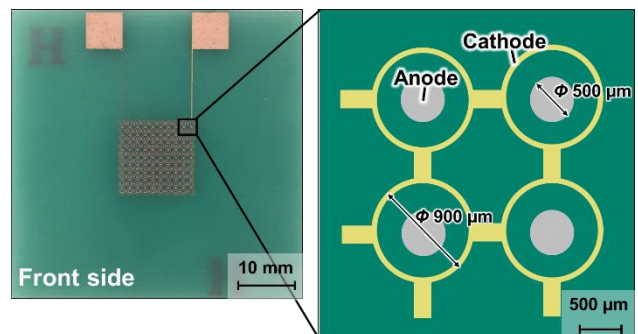


図3 片側電極基板

4. EAPAの作製と形状評価

EAPAの作製には熱硬化性樹脂であるハイドロゲンシリコーンにER粒子を混合させた材料を用いた。ER粒子の配合率は40 wt%とした。EAPAの作製は①材料の混合、②片側電極上へ塗布・平滑化、③EHDパターニングによるピラー作製、④熱硬化の順で行った。③のEHDパターニングとは樹脂に電場を印加し、クーロン力により樹脂を変形させる手法である。

作製したEAPAを図4に示す。EAピラーが電極パターンに沿って規則的に配列していることがわかる。平均のピラー高さは180 μm、直径は500 μmであった。さらに1本のピラーを拡大して観察すると、ピラー頂点中心部にER粒子が集中している様子が見られた。これはピラー作製時、高電場となる場所にER粒子が引き寄せられた結果であるといえる。またピラー頂点上にER粒子が存在していることから、EAPAに電場を印加することで固定力を発現することが期待できる。

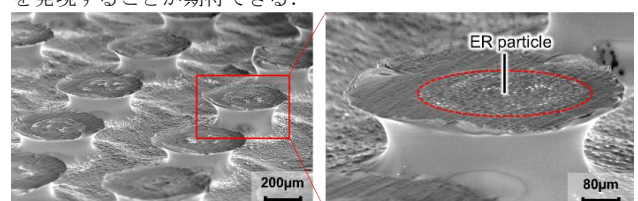


図4 作製したEAPA

5. 片側電極 EAPA の固定性能評価

5.1 せん断方向の固定力測定

作製した EAPA のせん断方向の固定力を測定した。図 5 に測定装置を示す。対象物として導体であるアルミ板と絶縁体であるガラス板を用意した。ロードセルと対象物は、糸を介して接続し、対象物を EAPA 上に乗せた後、糸を介して X ステージに設置したロードセルと対象物をつなぐ。この状態で、EAPA に電場を印加し、X 軸ステージを水平方向に 0.5 mm/s の速さでスライドさせた時のせん断方向固定力を測定した。片側電極に印加する電位差は 0-800 V と 100V 毎に変化させた。ここでは対象物と EAPA 界面で滑りが生じる直前の最大抵抗力を固定力と定義する。

固定力測定結果を図 6 に示す。EAPA への印加電圧が大きくなると固定力が大きくなるのがわかる。また対象物が導体である方が絶縁体に比べて大きな固定力が発生しているのがわかる。これは対象物が導体の場合、自由電子が移動することで対象物との接触面の電場が大きくなるためである[2]。

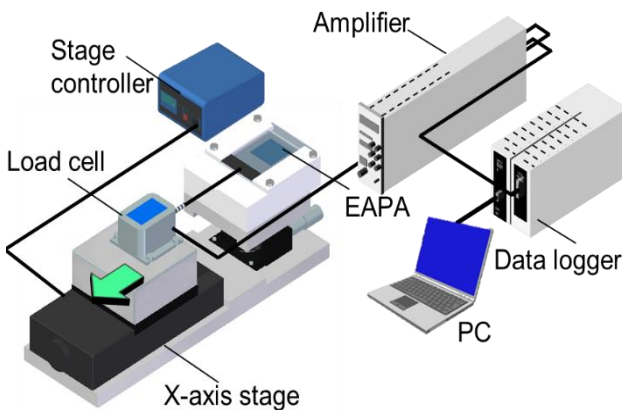


図 5 固定力測定装置

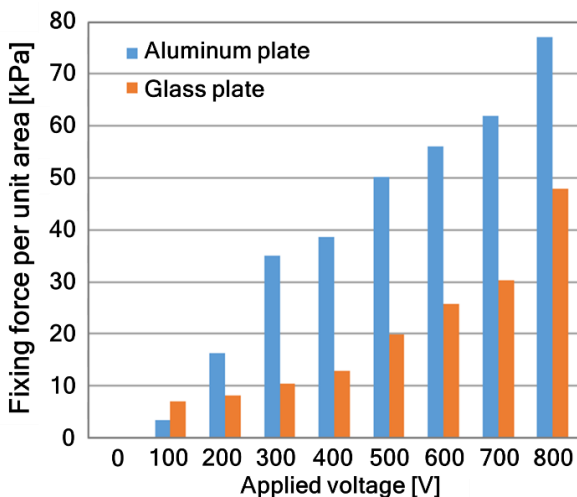


図 6 アルミ板・ガラス板に対する固定力

5.2 金属粒子を用いた粘着固定実験

次に粒子径 50-150 μm の微小な金属粒子を EAPA に粘着固定する実験を行った。EAPA を均一に均した金属粒子層の上に置き、片側電極に電位差を与えることで EAPA に金属粒子が粘着固定される。この時の EAPA 表面を観察し、1 本のピラー当たりに粘着固定した金属粒子数を調べた。図 7 に 1 本のピラーが平均して粘着固定した金属粒子数を示す。電位差が 0 V の場合 EAPA は金属粒子を粘着固定することはなかったが、電場を大きくすることで金属粒子をピラー頂点上に粘着固定できることがわかる。しかし、ここで粘着固定した金属粒子は電場を除いても外れなかった。そ

こでタックを有する樹脂面へ規則的に金属粒子を剥離する実験を行った。まず 800 V を印加し金属粒子を粘着固定した EAPA 基板を用意する。用意した EAPA 基板を電圧印加したままタックを有するポリジメチルシロキサン樹脂面上に接触させる。印加電圧を除くことで粘着固定した金属粒子が樹脂面へ規則的に剥離できるかを調べた。結果を図 8 に示す。図 8 (a)に 800 V 印加時、樹脂面上に置いた後の EAPA 表面、(b)に 0 V 時の粒子を剥離した樹脂面、(c)に剥離後の EAPA 表面を示している。結果から ER 粒子が集中するピラー内側部分でのみ金属粒子の剥離が可能であることがわかる。これは EAPA の粘着面が ER 粒子の分布に大きく依存し、EA 効果が ER 粒子の集中するピラー頂点内側で生じるためであるといえる。

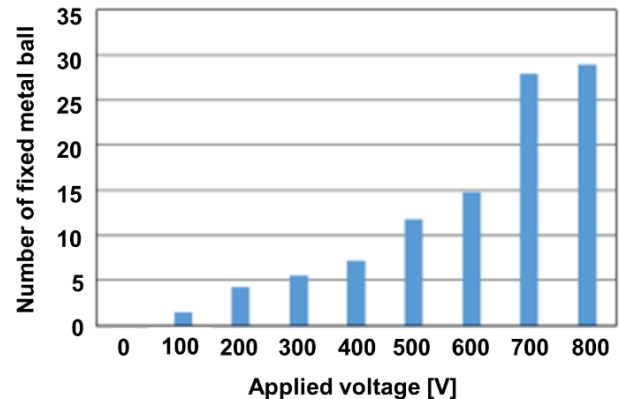


図 7 ピラーに粘着固定される金属粒子数と印加電圧の関係



図 8 粘着固定した金属粒子の剥離

6. 結論

本研究では片側電極を適用した EAPA の開発と微小部品に対する固定性能評価を行った。得られた成果を以下に示す。

- I) 片側電極を適用した EAPA の作製に成功した。作製したピラーは平均直径が 500 μm 、平均高さが 180 μm で表面が平滑な円柱状であった。またピラー頂点内側に ER 粒子が特に集中していることが観察された。
- II) 作製した EAPA において水平方向の固定力測定を行った結果、対象物が導体の場合、絶縁体の場合と比較してより大きな固定力が生じることを確認した。
- III) 微小な金属粒子を用いた粘着固定実験を行った。印加電圧に伴い、粘着固定する粒子数は増加した。ER 粒子が集まるピラー頂点内側部分で特に EA 効果が生じ樹脂面への金属粒子の剥離が可能であった。

参考文献

- [1] Kakinuma Y, Aoyama T, Anzai H. Development of high-performance ERG based on the principle of electro-adhesive effect. Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2010.21.1501-8
- [2] 柿沼康弘, 青山藤詞郎, 安齋秀伸, 田中克敏. ER ゲルに対する片側構造電極の適用とその性能評価 (第二報). 精密工学会誌. 2007.73.792-7.