

マイクロメッシュ構造を用いた電気粘着シートの開発と性能評価

慶應義塾大学 ○新野慎太郎, 青山藤詞郎, ◎柿沼康弘

要旨

外部電場に応じて表面の粘着特性が瞬間かつ可逆的に変化する電気粘着ゲルは、粘着分布が不均一であるという問題を抱えている。そこで、本研究ではフォトリソグラフィにて作製した、均一微細構造を有するマイクロメッシュを用いた電気粘着表面の開発を試みた。ウエハ搬送デバイスへの組み込みを目指し、電気粘着効果による粘着力測定並びに真空中での粘着表面観察を通して電気粘着表面の高性能化を図った。

1. 結論

外部からの電場印加により表面の粘着性が瞬間かつ可逆的に変化する機能性材料に、電気粘着ゲル(Electro-Adhesive Gel ; EAG)がある。EAGはER流体をゲル化したもので、シリコンゲルに誘電微粒子のER粒子を分散させたシート状の構造を持つ。EAGを2枚の平行平板電極で挟み、電場を印加すると、電界の勾配力によりゲルがER粒子表面に沿って隆起し、上部電極に粘着する。この現象を電気粘着(Electro-Adhesive ; EA)効果と呼ぶ。EAGは個体ごとの性能差が大きい、粘着領域にばらつきが生じるという2つの問題を抱えており、安定した性能を得られない。これらはER粒子の粒子分布が不均一であることに起因しているが、製造上の理由からER粒子を規則的に整列させることは困難である。

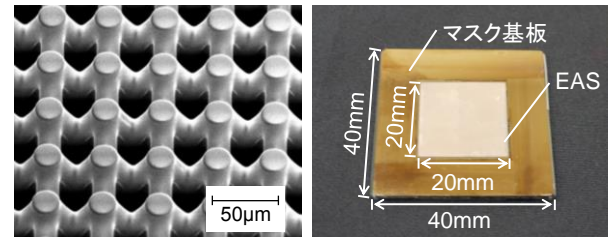
そこで、規則的な三次元微細構造を有するマイクロメッシュをER粒子の代替として用いた電気粘着表面(Electro-Adhesive Surface ; EAS)が開発された。図1(a)にマイクロメッシュを、(b)にEASを示す。EASはゲル部分からマイクロメッシュ頂点が出た表面構造を持ち、電場印加によりメッシュ頂点近傍でゲルが隆起するため、規則的な粘着現象が生じる。一方で、広範囲にわたり均一な微細構造を製造することやゲルの充填量を調整することは難しく、製造方法に課題が残る。そこで、本研究ではEASの製造プロセスの改善を試み、高性能化を図った。また、EASを真空中のウエハ保持に応用することを考え、真空中でのEA効果発現の可能性を調べた。

2. EASのシート化と製造プロセスの改善

従来のEASは、多重傾斜裏面露光法を用いてマイクロメッシュを作製するため、フォトマスクと電極を兼ねる特別な基板にのみ作製可能であった。しかし、シリコンウエハ等の半導体や絶縁体を保持するためには、EASを櫛歯電極(絶縁基板上に陰極と陽極を交互に配置した片側電極)上に貼り付ける必要がある。そこで、マスク基板よりEASを取り外して利用することを考えた。フォトリソグラフィの工程の最後に2-プロパノールに浸す処理を施すことで、強アルカリ性の現像液に侵されていたマイクロメッシュを構造が破損することなく剥離できることがわかった。剥離したマイクロメッシュを図2に示す。マイクロメッシュシートを貼り付けシリコンゲルを充填することで、櫛歯電極でEASを使用可能となった。ここで、シート化したEASを新たにEAシートと呼称する。さらに、剥離したメッシュシートの基板側を電気粘着面となるように製造することで、表面構造をより均一にすることができた。また、EASの問題点であった電場印加時の絶縁破壊も抑制された。

3. EASの粘着力測定

新たに作製したEAシートの性能を評価するため、電場印加時の粘着力を測定した。測定には図3に示す粘着力測定装置を用いた。Z軸手動ステージの上に下部電極と一体となったEAS



(a) マイクロメッシュ

(b) EAS

図1 EASのモデル図

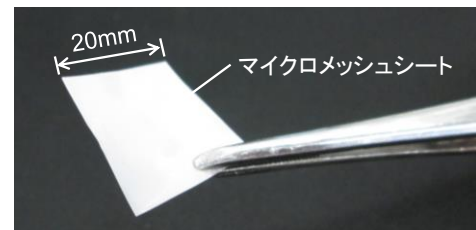


図2 マイクロメッシュシート

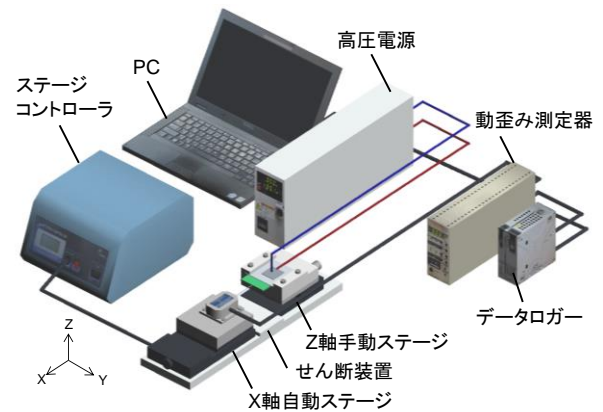


図3 粘着力測定装置

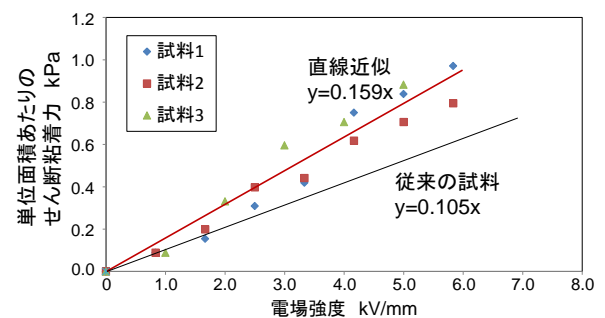


図4 粘着力測定結果

を固定し、その上に移動電極であるガラス電極をのせる。ガラス電極と X 軸自動ステージ上のロードセルの高さが等しくなるよう調整した後、両者をナイロン糸でつなぐ。下部電極を正極、ガラス電極を負極として、EAS に電場を印加した状態で、一定速で X 軸自動ステージを駆動することでガラス電極が EAS 上を滑る際に生じる摺動抵抗をロードセルにより計測する。

計測した摺動抵抗を EAS のみかけの面積で割り、単位面積あたりのせん断粘着力を算出した。その結果を図 4 に示す。電場強度と単位面積あたりのせん断粘着力は、ほぼ比例関係にあり、印加電場強度が 6.0kV/mm においておよそ 1.0kPa の粘着力が得られた。また、EA シートの粘着力を従来の EAS と比較したところ、およそ 1.5 倍に向上したことが明らかとなり、シート化による EAS の性能向上が示された。

4. 片側電極型 EAS

EAS を扱う際に上下から電極で挟み込む平行平板構造を用いた場合、粘着可能な対象は導体に限られる。絶縁体や半導体を粘着する方法としては、正負電極を交互に配置した櫛歯形状の電極を用いる必要がある。そこで、図 5 に示す櫛歯電極を製作し、EA シートを張り付けた片側電極型 EAS を作製した。両側電極の EAS と同様に粘着力測定を行った結果を図 6 に示す。測定には対向物として導体 (ITO ガラス電極板) と絶縁体 (ガラス板) を用いた。電極間電位差 1kV を印加した場合、ガラス電極ではおよそ 0.5kPa。ガラス板で 0.36kPa 程度の単位面積あたりのせん断粘着力を発現した。ウエハの保持搬送を想定した目標値 0.8kPa を達成するために、発生粘着力を 2 倍に向上する必要があることがわかった。

5. 真空観察実験

真空中における EA 効果発現の可能性を調べるため、減圧下での EAS の粘着現象の観察を行った。図 7 に真空観察装置内部の様子を示す。装置上部に設置されたガラス窓の内側には ITO 膜が施されており、観察窓と同時に電極の役割を担う。電極と一体化した EAS は下部よりスプリングにより押し上げられることで、EAS 表面はガラス電極に常に接触する機構とした。また、導入端子を開いて各電極に電圧を与えることができる。真空ポンプで装置内部を減圧した後に EAS に電場を印加し、ガラス電極との粘着の様子を観察した。図 8(a)および(b)に無電場時と電場印加時の減圧下の粘着面の様子を示す。電場印加により、規則的に生じた粘着面が確認できる。大気中と同様に粘着面が観察されたことから、減圧下でも EA 効果は発現することが明らかとなった。次に、大気中と減圧下での粘着の相違点を調べたところ、大気中では粘着面が観察されたのに対し、減圧下では観察されない領域が存在した。これにより、EA 効果は真空中では弱まる可能性が示された。また、減圧下での EAS の残留粘着面を観察したところ、電場除去後 30 秒が経過しても粘着面が残留している領域が存在した。そのため、真空中では EAS の応答性は低下する可能性が示された。

6. 結論

マイクロメッシュをマスク基板から剥離することより、櫛歯電極に貼り付けることが可能な EA シートの開発に成功した。EA シートは従来の EAS の 1.5 倍の粘着力を持ち、絶縁耐力や表面構造の均一性においても優れることがわかった。片側電極型 EAS を用いた場合、電極間電位差 1kV を印加することで、ガラス電極でおよそ 0.5kPa、ガラス板で 0.36kPa のせん断粘着抵抗を示した。

また、EA 効果は真空中でも発現することが明らかとなったが、EAS の性能が低下する可能性が示された。

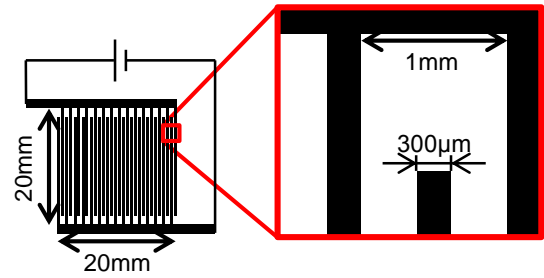


図5 設計した櫛歯電極の電極形状

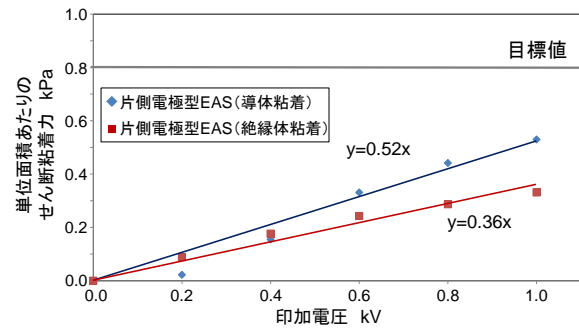


図6 片側電極型 EAS の粘着力測定結果

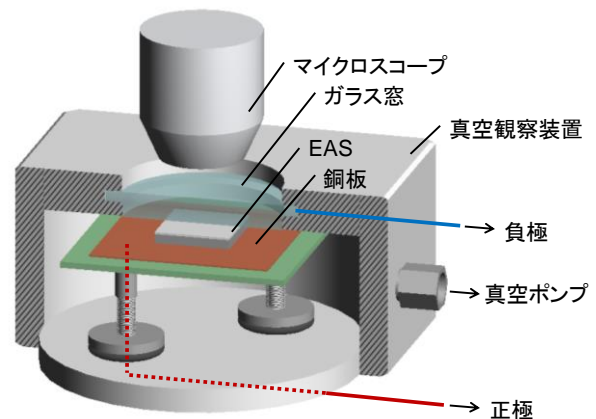
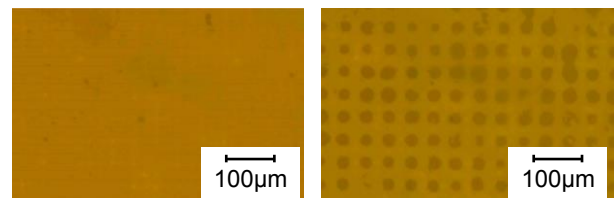


図7 真空観察装置の内部構造



(a) 無電場時

(b) 電場印加時

図8 減圧下での EAS 粘着面

参考文献

- 1) Y.Kakinuma, T.Aoyama, H.Anzai "Development of High-performance ERG based on the Principle of Electro-adhesive Effect" Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.21, No.15, 2010, pp.1501-1508