

レーザー表面改質によるステンレスメッシュのぬれ性制御法の開発

高見勇大*, 瀬知啓久**

Development of Wettability Control Method for Surface Modification of Stainless Steel Mesh by Using Laser

Yuta TAKAMI and Yoshihisa SECHI

電子部品の製造において、電気配線を形成するためにはスクリーンマスクによるパターン形成が多用されている。近年、スクリーンマスクで用いるステンレスメッシュは、高品位で極細線（線径15~30 μ m）のメッシュが使用されており、表面状態の違いでぬれ性及び耐久性が変化する問題がある。そこで、本研究ではメッシュの表面改質にレーザーを適用することにより、金属表面とぬれ性の相関を明らかにするとともに、ぬれ性の制御法を開発した。

Keyword : レーザ, ステンレスメッシュ, ぬれ性

1. 緒 言

電子部品産業は、リモート需要の拡大及び通信技術の進歩などにより2020年から世界的に生産額が増加傾向にある¹⁾。今後も、IoT、5G関連及び工場の省人化において電子部品の高い需要が見込まれる。

鹿児島県では、電子関連企業が59社あり、製造から組み立てまで幅広い分野を担っている。その電子関連企業で使われる電子部品の製造には、スクリーンマスクを用いた印刷による電気配線形成が多用されている。スクリーンマスクの製造と使用法の概略を図1に示す。スクリーンマスクは、ステンレス等を編んだメッシュ上に乳剤を塗布し、コーティングされた乳剤により微細なパターンを形成したもの

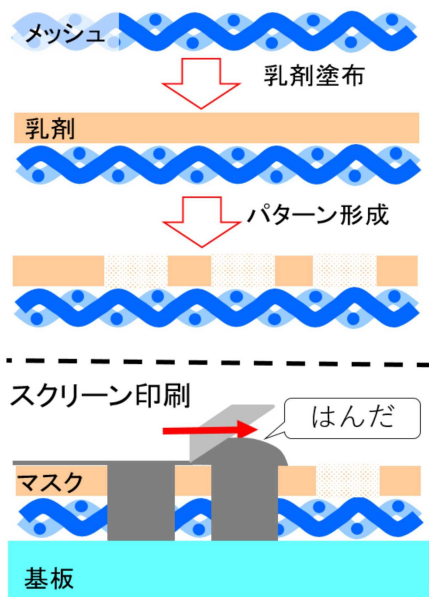


図1 スクリーンマスクの製造と使用法

である。スクリーンマスクに基板を合わせて、はんだ等のペーストをスクリーン印刷することでパターン形成した電気配線を基板に印刷する。

近年、スクリーンマスクでは、高品位で極細線（線径15~30 μ m）のステンレスメッシュが用いられている。また、使用するステンレス線径の微細化に伴い、メッシュの単位面積当たりの表面積も加速度的に広がっている。しかし、ステンレスメッシュの表面状態の違いで、乳剤のぬれ性や耐久性が変化し、スクリーンマスクを使用したパターン形成における印刷ピッチの精度が不足する問題が生じている。図2にぬれ性に関する模式図を示す。ぬれ性とは、固体表面に対する液体の付着しやすさを表現した指標であり、定量的には接触角で表される。接触角は、固体表面と固体に付着した液体で生じる角度 θ である。ステンレスメッシュにおいて、接触角の値が適正でないと図1のパターン形成において乳剤が滲んだり、剥離する等の不具合により印刷精度が低下する。ステンレスメッシュの接触角の目標値は、関連企業からの要望は40°~70°であるが、現状は70°~90°と高めである。

これらの問題に対処するため、現状ではステンレスメッシュにプレス加工による表面の硬化および細線の張力調整を施しているものの、ステンレスメッシュと乳剤とのぬれ性を改善するため、より安定した表面改質が求められている。ぬれ性に影響する要因として表面の凹凸、物理的付着

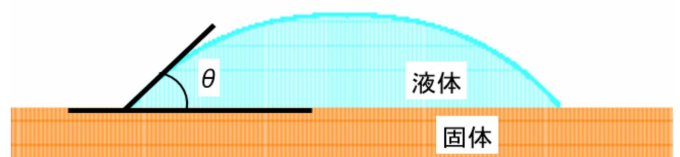


図2 ぬれ性に関する模式図

* 生産技術部

** 元生産技術部（現 東京プレイズ株式会社）

物、酸化皮膜および有機物汚染が考えられる。

本研究ではステンレス表面の有機物汚染に着目し、レーザーによる表面改質とぬれ性向上を図った²⁾。表面の有機物汚染は、160℃以上に加熱処理することにより減少する³⁾ことが分かっている。加熱方法として炉内加熱及びガスバーナーなどがあるが、長時間加熱による寸法精度低下、ガスの燃焼による再汚染といった短所があるため、一瞬で表面改質できるレーザーを用いた。また、ステンレスメッシュの表裏の全面を表面改質するために図3のように反射鏡を用いてレーザーを反射させる対策を施し、レーザー照射条件および反射鏡の設置方法を検討したので報告する。

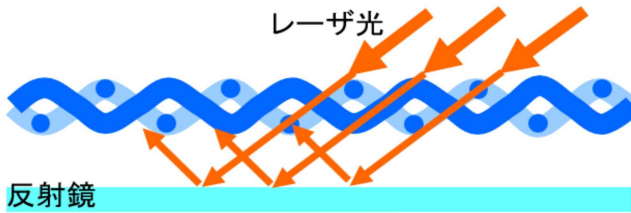


図3 反射鏡の使用イメージ

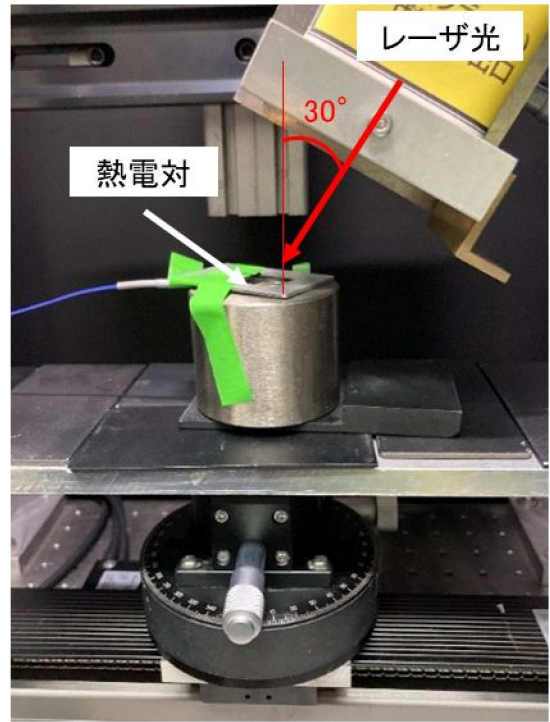


図4 ステンレスメッシュ表面の温度測定方法

2. 実験方法

2. 1 レーザ照射条件とぬれ性評価

表1にメッシュの仕様を示す。材種はSUS304である。ここで、目開きとは網目の隙間部分の寸法であり、空間率とは網目に対しての空間の割合のことである。レーザー照射には、当センターが所有する600W半導体レーザー装置（株）村谷機械製作所製）を用いた。レーザー光は矩形で、波長は915nm、発生源の傾斜角度が30°のとき0.273mm×2.79mmの範囲で表面改質が可能であり、広範囲を表面処理する場合は、レーザー光を走査しながら照射する。

熱電対を用いた実効出力の違いによるステンレスメッシュ表面の温度変化の測定方法と図4に、熱電対のメッシュへの設置状況を図5に示す。実験では、装置の光源保護を目的として発生源の傾斜角度を30°として2.79mmの幅で10mm走査し、0.79mmだけ重なるように4回繰り返しレーザー光を照射した。

予備実験として、有機物汚染の除去に必要なレーザー光の実効出力を知るために、各出力での温度変化を確認した。各実効出力におけるステンレスメッシュ表面温度と経過時間の関係を図6に示す。レーザー光の実効出力は、電圧を変えず0.3A～0.6Aの範囲で生じるレーザー光の出力を図4のよ

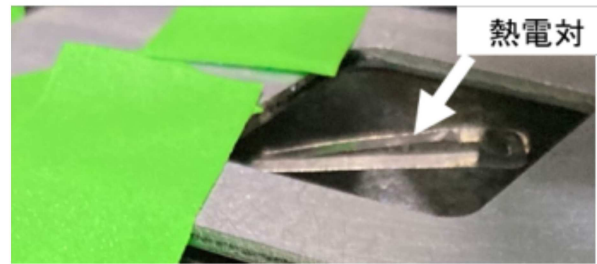


図5 ステンレスメッシュと熱電対部

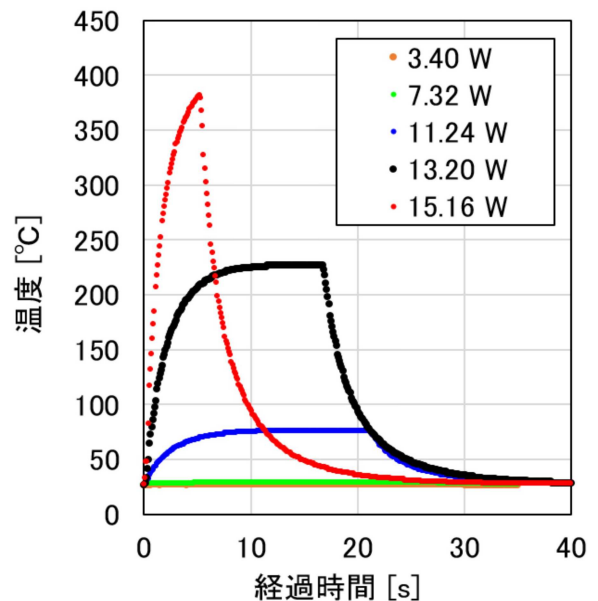


図6 ステンレスメッシュ表面の温度変化

表1 ステンレスメッシュの仕様

材種	SUS304
目開き	32 μm
メッシュ数	423本/inch
線径	28 μm
空間率	28.5%

うに30°傾けた場合を考慮した値である。有機物汚染を加熱し、除去するためには13.20W以上のレーザ光の実効出力が必要であることが分かった。

ステンレスメッシュの広範囲を表面処理するためには、レーザ光を走査する必要がある。そこで、走査速度を1.1mm/s～5mm/sの範囲で変化させてぬれ性測定用の試料を作製した。試料のぬれ性評価には、超純水製造装置（メルク社製、Milli-Q）で精製した超純水を用いて接触角測定機（(株)あすみ技研製、B100W）で測定した。

2. 2 反射鏡の設置

ステンレスメッシュへのレーザ照射の場合、片面からのレーザ照射だけではレーザ光の発生源に対して影になる部分は表面改質できない。この課題を解消するため、反射鏡を用いてレーザ光を反射させることで発生源に対して影になる部分も表面改質できるようにした。反射鏡には、反射率87%のアルミニウム板を使用した。反射鏡を用いた試験条件を表2に示す。発生源の傾斜角度とレーザ出力は、前節の結果に基づき設定した。

反射鏡の設置イメージを図7および図8に示す。図7に示すように反射鏡とステンレスメッシュ間にある程度の距離があると照射領域が重ならないため加熱効率が低下する。そこで、反射鏡とステンレスメッシュ間の距離を約0.1mmにして反射鏡を設置した。

3. 実験結果および考察

3. 1 レーザ走査速度の評価と表面分析

ステンレスメッシュのぬれ性と片面からのレーザ照射におけるレーザ走査速度の関係を図9に、実験で得られた液

滴の様子を図10に示す。レーザ光の実効出力を13.20W、傾斜角度を30°とし、ぬれ性評価の液滴は2.0mm間隔で15回測定した平均値と最大値及び最小値を示しており、いずれもレーザ光が照射される表面のぬれ性の値である。走査速度が低下すると接触角が小さくなるのがわかる。既述のとおり接触角における目標値である40°～70°とするためには、走査速度を1mm/s～3.2mm/s以下とすれば良いことが分かった。

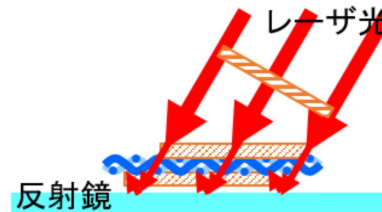


図8 反射鏡の設置イメージ2

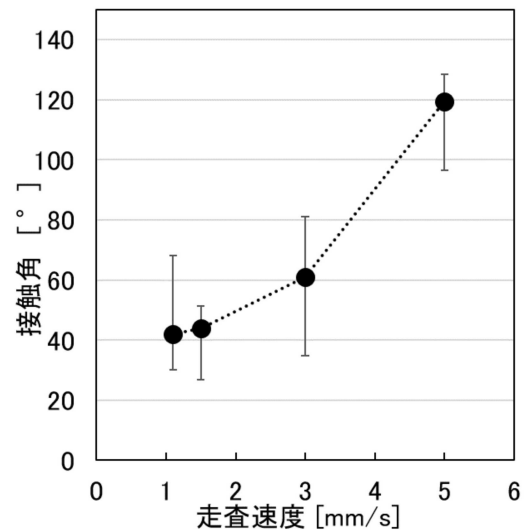


図9 走査速度と接触角

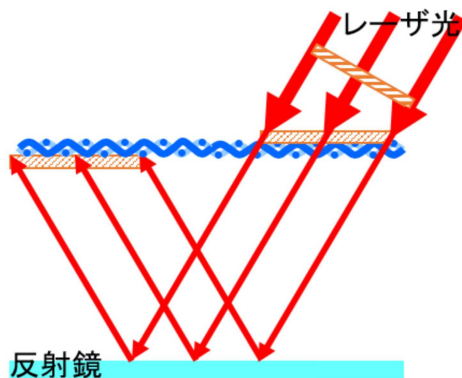


図7 反射鏡の設置イメージ1

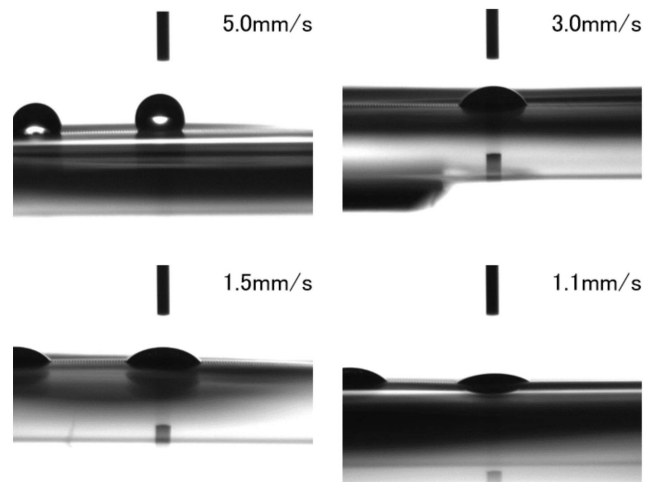


図10 接触角の測定写真

発生源の傾斜角度	30°
レーザ出力	13.20W
走査速度	1.1mm/s
反射鏡の位置	メッシュとの距離を約0.1mm空ける

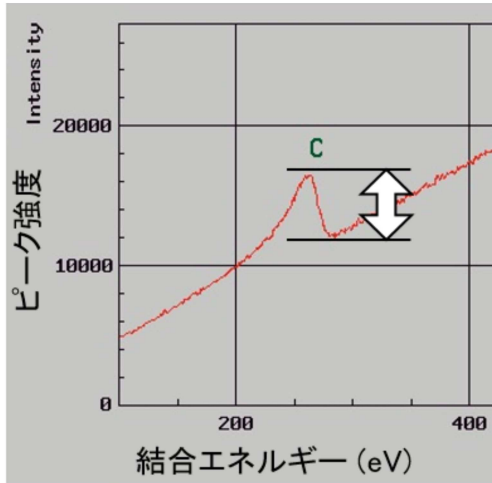


図11(a) 定性分析結果 (照射前)

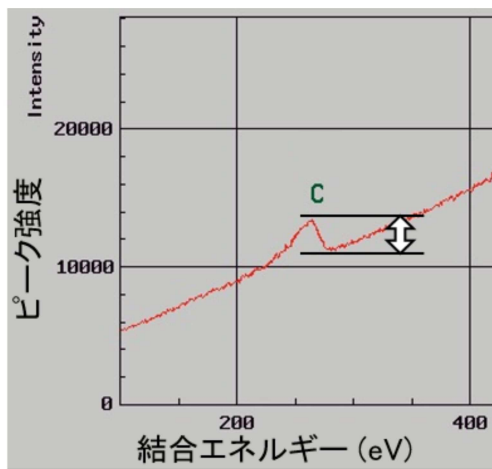


図11(b) 定性分析結果 (照射後)

ここで、ステンレスメッシュの表面をオージェ電子分析装置（日本電子(株)製、JAMP-7810）を用いて定性分析した結果を図11(a)、図11(b)に示す。照射前のステンレスメッシュと照射後のステンレスメッシュを比較し、照射後の方が炭素のピークが下がっていることから、レーザー照射により表面の有機物が除去できていることがわかった。

3. 2 反射鏡の設置によるぬれ性評価

前節までの結果から、十数W程度の低出力のレーザーで表面改質が可能であることがわかった。図12に2. 2に示す条件にて試験したステンレスメッシュのぬれ性と反射鏡の有無の相関を示す。反射鏡を設置することで裏面のぬれ性を

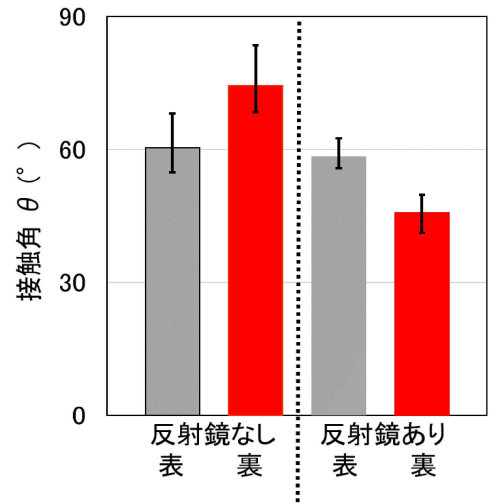


図12 反射鏡による裏面照射効果

約 30° 低減できることがわかった。裏面は、表面に照射されたレーザー光が反射し裏面に当たるため表面よりも接触角が低くなったと考えられる。

4. 結 言

本研究では、ステンレスメッシュの表面改質をするためにレーザー照射条件を検討した。さらに、ステンレスメッシュの全面を表面改質するために、レーザー反射鏡を設置することで以下のことがわかった。

- (1) 十数Wのレーザー照射でステンレスメッシュ表面の接触角が低くなり、ぬれ性が改善された。
- (2) レーザ光の実効出力13.20W，発生源の傾斜角度 30° において、走査速度を1.1~3.0mm/s以下にすることで接触角を 40° ~ 70° 以下にすることができた。
- (3) 反射鏡を用いてレーザー光を反射することで、レーザー光の発生源に対して影になる裏面の接触角を低減できた。

参 考 文 献

- 1) 一般社団法人 電子情報技術産業協会：調査統計ガイドブック2022-2023, 6-9 (2022)
- 2) 水谷正義, 湯田彩香, 小茂鳥潤, 嶋田慶太, 厨川常元：砥粒加工学会誌, 60巻1号, 35-39 (2016)
- 3) 高橋和宏, 福崎智司：岡山県工業技術センター報告, 第38号, 1-4 (2011)