

レーザー干渉法によるナノ構造をもつ光学部品の開発

評価技術課 本保栄治、佐々木克浩 加工技術課 小幡 勤

1. 緒言

光の波長より短い周期をもつ表面構造は、屈折率、複屈折、共鳴現象など制御できることから、現在盛んに研究が行われている。特に、微細な突起が整列した構造による反射防止、金属を線状に配置したワエーグリッド偏光板、および回折光学素子は、実用化されつつある。これらの光学素子は、実験的には電子線描画装置とプラズマエッチングによって作製される。紫外線レーザーを用いた干渉露光法を利用する場合もある。また、これらの光学素子はモールドを樹脂に押しつけて凹凸を形成する、ナノインプリント法を利用することができる。微細構造であるが局所的な精度やアライメントが不要なことから、ナノインプリント法との相性は良い。

熱線反射ガラスは、可視光は透過し、赤外線は反射するため、日射や室内外の熱の出入りを制御して、省エネに効果的である。それらは、銀の薄膜やスズ添加酸化インジウム (ITO) 膜が利用されているが、耐久性やコストなどが課題である。

そこで、表面の微細構造の制御により、性能の良い熱線反射ガラスの開発を目的として研究を行った。熱線反射ガラスでは、金属のグリッド構造はその間隔よりも大きな波長の光は反射し、より小さな波長の光は透過する性質を利用する素子を検討した。金属のグリッド構造は、太陽電池用の透明電極としても検討されている。また、作製プロセスとして、生産効率の良いプリント法への展開を考慮しながら、安価な可視光レーザーによる干渉法について検討したので、その中間報告をする。

2. 実験方法

グリッド構造の作製のために、基板は 50mm 角のパイレックスガラスを使用し、基板上にスパッタ法で Al 薄膜を 100nm 成膜した。微細加工は、フォトリソグラフ工程を利用し、25mm 角の範囲を加工した。図 1 は、マスクパターンの図面の一部である。光学特性を調べるために、線幅 d は $2\mu\text{m}$ 一定として、ピッチ Λ を変えたグリッド構造を加工した。グリッド構造に加工するための Al 薄膜のエッチングには、リン酸系 (リン酸 : 硝酸 : 酢酸 : 水 = 1 : 6 :

4 : 4 : 1) 溶液を使用した。液温 40°C でエッチングレートは $300\text{nm}/\text{min}$ であった。グリッド構造の形状の評価は、走査電子顕微鏡 (SEM) (日立 S-3400N) を使用した。光学特性を評価するために、可視光透過率の測定は分光光度計 (島津 UV-3100) を使用し、赤外反射率の測定は赤外分光光度計 (日本分光 FT/IR-680plus) を使用した。また、面抵抗は、四端子法により測定した。

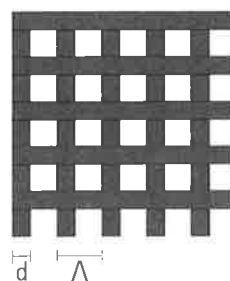
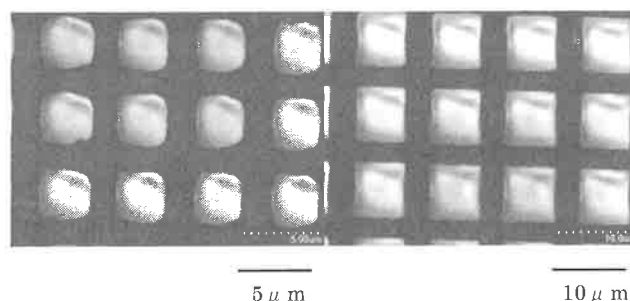
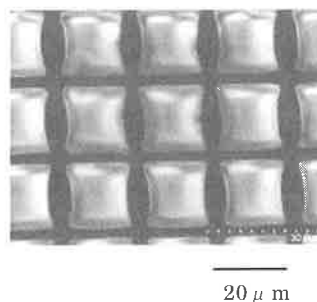


図 1. マスクパターン
(d :線幅、 Λ :ピッチ)



(a) $d:\Lambda=2:5(\mu\text{m})$

(b) $d:\Lambda=2:10(\mu\text{m})$



(c) $d:\Lambda=2:20(\mu\text{m})$

図 2. グリッド構造の SEM 像

3. 結果及び考察

図2は、グリッド構造のSEM像である。いずれの構造も、ほぼマスクパターン通りの線幅 d 、及びピッチ Λ に形成されている。しかし、ピッチ $5\mu\text{m}$ ではエッジが丸くなっており、ピッチ $20\mu\text{m}$ では線が括れている。線幅 $2\mu\text{m}$ 、ピッチ $10\mu\text{m}$ 程度が、この工程による微細加工の限度である。また、ウェットエッチングでは、所定の形状にエッチングを停止する制御が困難であった。

図3は、グリッド構造の可視光透過率の分光特性である。いずれの構造も無色である。可視光透過率は、ピッチ $5\mu\text{m}$ は 29.5% 、ピッチ $10\mu\text{m}$ は 48.5% 、ピッチ $20\mu\text{m}$ では 77.0% に達する。窓材として必要な可視光透過率を得るには、線幅の10倍程度のピッチにする必要がある。次に、図4はグリッド構造の赤外域での分光反射率である。ピッチが小さくなると共に、赤外域での反射率は増加している。ピッチ $5\mu\text{m}$ では、波長 $20\mu\text{m}$ で反射率 80% 以上になる。これは、金属部の占める面積が大きいことが一因であるが、反射特性は波長 $5\sim 10\mu\text{m}$ から徐々に増大していることから、ピッチとの相関も考えられる。一般に、十分な反射を得るためには、波長の数分の1以下のピッチが必要とされ、熱線反射に寄与する波長 $5\mu\text{m}$ 以上の赤外線を反射するためには、ピッチ $1\mu\text{m}$ 程度が必要である。

表1は、グリッド構造の面抵抗である。ピッチ $10\mu\text{m}$ までは、透明電極として実用的な値である。ピッチ $20\mu\text{m}$ で急激に面抵抗が増加した理由は、SEM像から形状に課題があるためと考えられる。

4. まとめ

金属のグリッド構造による熱線反射ガラスや透明電極への応用のために、フォトリソグラフとウェットエッチングによる微細加工により、線幅とピッチによる影響を検討した。

今後、レーザー干渉法によるサブミクロンオーダーの加工法とプリント法に適応する埋め込み型の形状について研究を行う。

キーワード：グリッド構造，アルミニウム薄膜，フォトリソグラフ，熱線反射

Development of optical elements with nano-length structured surfaces by laser interference method
Eiji HONBO, Katuhiro SASAKI, Tsutomu OBATA

Grid structured surfaces have been formed by using photolithography and wet etching to aluminum films. The visible and infrared optical properties of elements with $2\mu\text{m}$ line wide were measured. Elements with sub-micron pitch are required for the purpose of manufacturing feat-reflective glass.

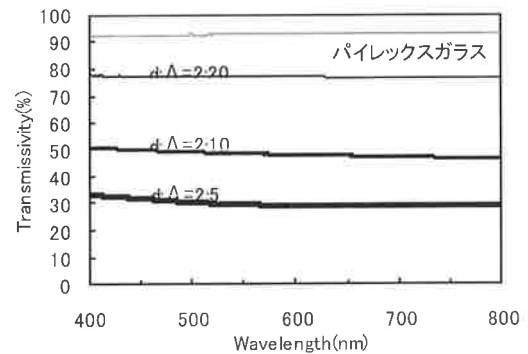


図3. グリッド構造の可視光透過率

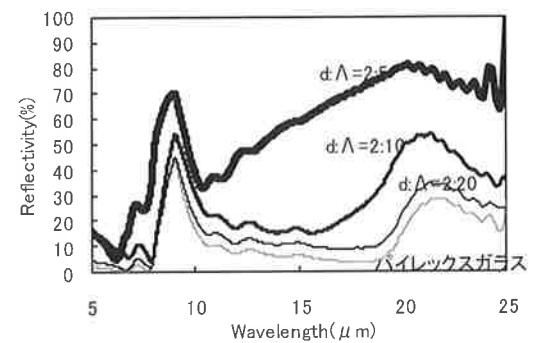


図4. グリッド構造の赤外線反射率

表1. グリッド構造の面抵抗

$d:\Lambda$	2:5	2:10	2:20
面抵抗(Ω/\square)	2.4	6.4	23k