

微細成形加工によるナノ構造光学素子の 開発とその進展

国立研究開発法人産業技術総合研究所 製造技術研究部門
栗原一真，穂苅遼平，桑野玄気

1. はじめに

近年，Meta 社から AR グラス:Orion が発表されたり，Metalenz と ST マイクロが，光学メタサーフェス技術を組み込んだ半導体チップを採用したり，微細構造体が使われた光学素子の技術動向に，新たな潮流がおきている。これらメタサーフェスは，波長以下の微細構造体の空間占有率と構造体材料の屈折率によって決まる有効屈折率を，空間的に構造体の粗密パターンを配置して，構造体の粗密パターンにより位相差等を生じさせ，光の回折や屈折を行うものである。これまで光学レンズ等は，レンズ界面に生じる屈折や，回折などを利用して集光するものが良く使われるが，このレンズ形状の加工は，半導体などの微細加工技術においては，レンズに必要な傾斜の形状制御を行うのが難しい。特に，非球面レンズなど高精度な形状精度が必要なものは加工プロセスなどが難しく，生産時の製品精度のばらつきなどの制御が課題となってくる。一方で，メタレンズは，レンズに必要な傾斜の形状制御が必要なく，構造体の粗密パターンをリソグラフィしてから，半導体エッチング装置で，高屈折率の無機膜を垂直に加工すれば良いので，加工プロセスも容易であることから，リソグラフィパターンの微細化なども相乗して，利用されるようになってきたと考えている。さらに，特性の面では，これまでの斜面形状制御等による光波の制御では表現する事が出来なかった位相差制御が可能になるため，メタサーフェスは，これまでよりより薄くて明るい光学レンズなどが実現できる可能性を秘めている。

一方で，AR グラスなど導波させて光の空間制御するデバイスは，軽量化や曲面化への対応が必要な製品群もあり，軽量化や曲面化・さらには成形プロセスで大量生産できる技術として，有機材料のメタサーフェスの実現が必要となってくる現状である。メタサーフェスは，構造体の密度から決まる有効屈折率から位相差等を生じているため，大きな位相差を得るためには，光路長を稼ぐ必要がある。光路長を稼ぐには，メタサーフェスに用いる材料の屈折率を高くすることや，よりハイアスペクト比の構造体を実現することが有効であるため，高屈折率の樹脂材料技術や，ハイアスペクト比のナノ構造体を転写するナノインプリント技術開発などが重要であり，これらの技術の高度化が重要になってくる状況である。

また，メタサーフェスは光の波長領域の研究開発が活発に行われているが，光の波長領域以外の応用展開について述べると，次世代通信規格として期待されている 5G や Beyond 5G/6G 波長帯域や，車載用途で使われているミリ波帯域での活用も期待できると考えている。これら帯域の波長は数ミリメートルと長くなり，材料の光学特性に起因して利用できる材料も限られてくる現状である。また，波長が長くなると，導波長も長くなるため，コーティング技術などを用いた場合には，薄膜の膜厚が大きくなり，薄膜の応力等の増加により薄膜破壊が発生しやすくなる課題も発生すると考えている。メタサーフェスはこれらの課題の解決可能性を秘めており，可視・赤外域と比較して構造体が大きくなるため，光の領域で用いられる半導体加工技術やナノインプリント等だけでなく，3D プリント技術も適用可能となるため，新しい発想の高機能部材の実現が期待できると考えている。

我々は，微細なナノ構造を持つ金型を作製するために，微細な構造体の転写を容易にする金型技術