

グレースケール露光と深掘りエッチングを用いたシリコンレンズアレイ

及びサブ波長反射防止構造の開発

成瀬雅人(理工学研究科・助教)

これまで超伝導検出器を用いたテラヘルツ波カメラの開発を行ってきた。テラヘルツは電波と光波の特徴を併せ持ち従来見えなかったものが観察できるため、天文学などの基礎科学分野の他に手荷物検査や構造物非破壊検査などの産業分野からも高感度カメラの開発が待ち望まれている。カメラはセンサ・読み出し回路・光学レンズから構成され、1000素子程度のセンサ・読み出し回路の開発は順調に進んでいる。一方でレンズアレイの開発が遅れており、テラヘルツ波カメラ実用化への最重要課題の一つとなっている。

レンズアレイの作製には直径1 mmの半球レンズを0.001 mmの精度で1000個敷き詰める必要があるが、機械加工では要求精度に比してレンズアレイ全体が大きいため時間・コストがかかりすぎる。また、レンズは誘電率の高いシリコンで作られるためレンズ表面に反射防止処理が必要だが、反射防止膜をレンズ表面に取りつけても、テラヘルツカメラの場合レンズがセンサと共に3 K以下まで冷やされるため膜が剥離してしまう。

このような問題を解決するため、半導体プロセス技術であるグレースケール露光と深掘りエッチング技術を使ったレンズアレイ・反射防止構造の作製法を提案する。テラヘルツ波カメラ実用に不可欠な1000素子のシリコンレンズアレイを短時間で安価に、さらに反射防止構造と同時に作製可能な点にある。反射防止構造はレンズ表面の0.05 mm程度の周期構造によって実現される。レンズと反射防止構造が一つの構造体になっており、冷却サイクルによって壊れることはない。

また、センサはシリコン基板上に作製されるため、本研究の技術を用いればセンサとレンズの一体化が可能である。これによってセンサとレンズの位置ずれによって生じる感度低下の問題も解決できる。

本年度は、グレースケール露光及び深掘りエッチング装置を用いて、直径1 mm以下の半球レンズアレイが製作可能性を探った。フォトリソとシリコン基板のエッチング速度を各々調べ、エッチング後に所望の形状が得られるな条件探しを行った。

また、比較対象として従来の機械加工で作製した9素子のシリコンレンズアレイをテラヘルツ波カメラに組み込み性能評価を行った。このシリコンレンズアレイは国立天文台先端技術センターとの共同研究で製作された。その結果まとめを学術論文[1, 2]としてまとめ、また学会等で発表を行った。

[1] M. Naruse, et al, "Optical efficiencies of Lens-Antenna Coupled Kinetic Inductance Detectors at 220 GHz", IEEE Trans. on Terahertz Science and Tech., Vol.3. (2), pp.180-186, (2013).

[2] T. Nitta, M. Naruse, et al, "Beam Pattern Measurements of Millimeter-wave Microwave Kinetic Inductance Detector Camera with Direct Machined Silicon Lens Array", IEEE Trans. on Terahertz Science and Tech., Vol.3 (1), pp. 56-62, (2013).