

# マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

## ARIM User's Report

[Release : 2024.07.25] [Update : 2024.04.12]

### 課題データ / Project Data

|  |  |
|--|--|
| 課題番号<br>Project Issue Number           | 23TU0046   |
| 利用課題名<br>Title                         | メタマテリアルデバイスの作製   |
| 利用した実施機関<br>Support Institute          | 東北大学 / Tohoku Univ.  |
| 機関外・機関内の利用<br>External or Internal Use | 外部利用/External Use  |
| 横断技術領域<br>Cross-Technology Area        | 加工・デバイスプロセス/Nanofabrication  |
| 重要技術領域<br>Important Technology Area    | 高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed |
| キーワード<br>Keywords                      | テラヘルツデバイス,位相シフト,フレネルゾーンプレート,BCB,メタマテリアル/<br>Metamaterial,光リソグラフィ / Photolithgraphy     |

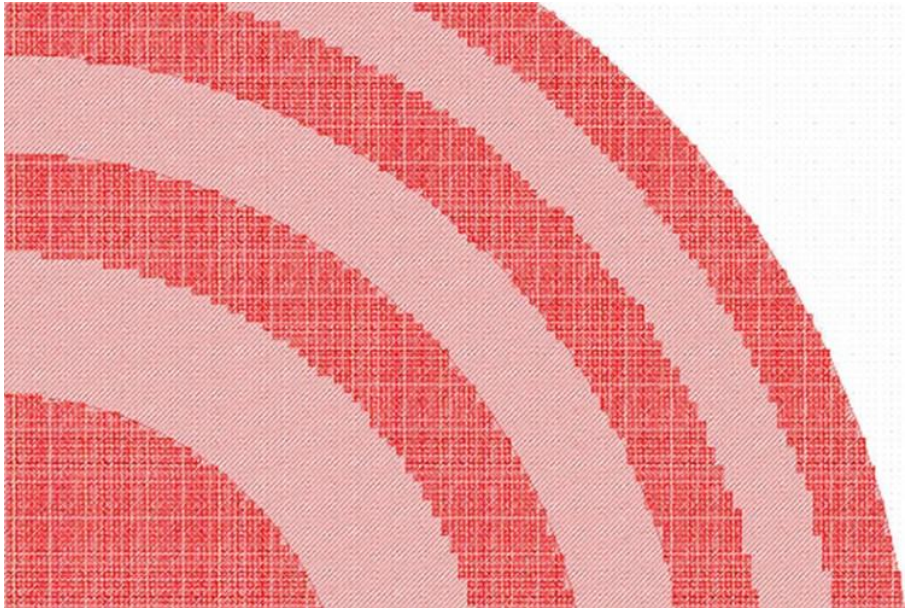
### 利用者と利用形態 / User and Support Type

|   |                            |
|---|----------------------------|
| 利用者名 (課題申請者)<br>User Name (Project Applicant)   | 佐々木 玲子                     |
| 所属名<br>Affiliation  | 理化学研究所                     |
| 共同利用者氏名<br>Names of Collaborators<br>in Other Institutes Than<br>Hub and Spoke Institutes | 鈴木 哲                       |
| ARIM実施機関支援担当者<br>Names of Collaborators<br>in The Hub and Spoke<br>Institutes             |                            |
| 利用形態<br>Support Type  | 機器利用/Equipment Utilization |

### 利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

|                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| 利用した主な設備<br>Equipment ID & Name | TU-058 : マスクレスアライナ |
|---------------------------------|--------------------|

### 報告書データ / Report

|  |   |
|--|---|
| <p><b>概要（目的・用途・実施内容）</b><br/> <b>Abstract (Aim, Use Applications and Contents)</b></p> | <p>テラヘルツ波は、光波と電波の境界領域の電磁波であるが、種々の物質に対する指紋スペクトルが存在すること、生体その他の物質への適度な侵入深さがあること、空間分解能が高い事などから、研究開発・利用が進められている。</p> <p>本研究では300 GHz帯のテラヘルツ波を想定して、微細なリング共振器を同心円2次元アレイとしたフレネルゾーンプレート（FZP）の開発を行う。THz帯で低損失誘電体を用いてレンズを形成する場合、肉厚レンズとなり、レンズ厚さ、レンズ曲率、収差等の点で、光学素子として好ましいものではなかった。FZPを使用すれば誘電体レンズの欠点を改善できる。昨年度から引き続き開発するFZPを図1に示す。本年度に作製するものは、周波数が300 GHzであることにより、誘電体膜（BCB）の厚さが完成時で約150 <math>\mu\text{m}</math>となる。そのため、加工プロセスの過程でいくつかの修正点があった。</p>  |
| <p><b>実験</b><br/> <b>Experimental</b></p>  | <p>【実験方法】</p> <p>1. Si基板のそりに対する改良</p> <p>誘電体として使用するBenzocyclobutene（BCB）膜が厚くなったため、熱処理の際にBCB層とSi基板の熱膨張係数の差異により、室温に冷却した際、基板全体が反る現象が現れた。そのため次に続くフォトリソグラフィなどの工程に支障が生じた。そこで熱膨張係数を考慮し石英基板を用いることにした。熱膨張係数にはまだ差があるものの、石英の硬度のため基板の反りは概ね抑えられている。</p> <p>2. ダブルレイヤーFZPパターンのマスク合わせ</p> <p>2つのFZPレイヤー間隔が広いため、マスク合わせの際にずれが生じやすい。図2は第1レイヤーのFZP素子パターンの写真である。図3は第2レイヤーと第1レイヤーを透過的に観察した写真である。わずかにパターンの位置ずれが生じているのが分かる。今後マスク合わせの技術の向上により、より精密な2重レイヤーFZPを作製できる見込みである。図4は既成BCBフィルム上に形成したFZPパターンである。Alスパッタ膜を形成する際のBCBフィルムの冷却（カプトンテープによる電極板への密着）が十分ではないためスパッタ中にその温度が上昇し、結果としてそれが反りかえる結果となった。そのため第2層目のAlスパッタ膜形成の際にBCBフィルムを電極板に固定することが難しくなっている。現状では、フィルムの固定方法の改善が必要である。図5は第1層目のFZPパターンであり、概ね良好なパターンが形成されていることが分かる。</p> |
| <p><b>結果と考察</b><br/> <b>Results and Discussion</b></p>                                 | <p>何回かのフォトリソグラフィ工程でのベーキングで、ホットプレートの使用によりBCBに細かいひび割れが発生した。ホットプレートの場合、温度上昇が急激であるため、ひび割れが発生したと考えられる。そこで、オープンによるベーキングに切り替えることにより、BCBのひび割れを防止できた。またBCBコーティングの際に微小な泡とバンプが発生することがあったが、BCB溶剤の滴下方法を改良して、概ね防止できた。エッジビード除去剤の使用により基板周辺のBCBの盛り上がりを取り除き、第2層のフォトリソグラフィが安定するようになった。</p> <p>いくつかのプロセスの改良により、300 GHz帯FZPの作製の見通しが良くなった。次年度は本FZPの完成まで着実に前進したい。</p>  |
| <p><b>図・表・数式 1</b><br/> <b>Figures, Tables and Equations 1</b></p>                     |  <p>図1. 300GHz帯メタ材料FZPパターン</p>  |

図・表・数式 2  
Figures, Tables and  
Equations 2

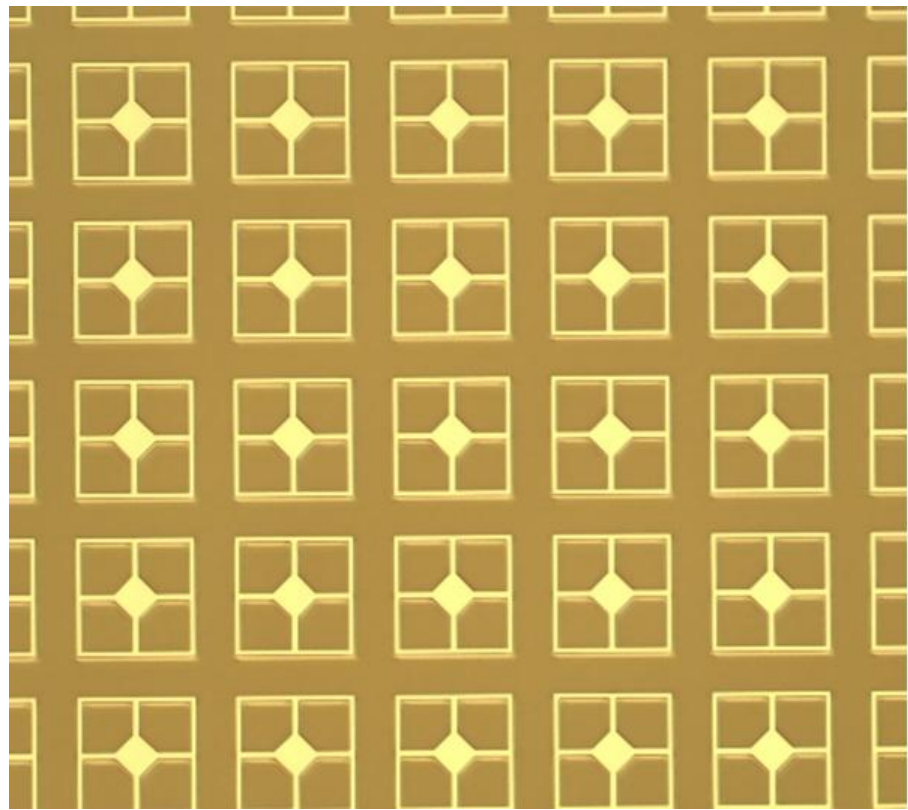


図 2. 300GHz帯メタ材料FZP素子パターン

図・表・数式 3  
Figures, Tables and  
Equations 3

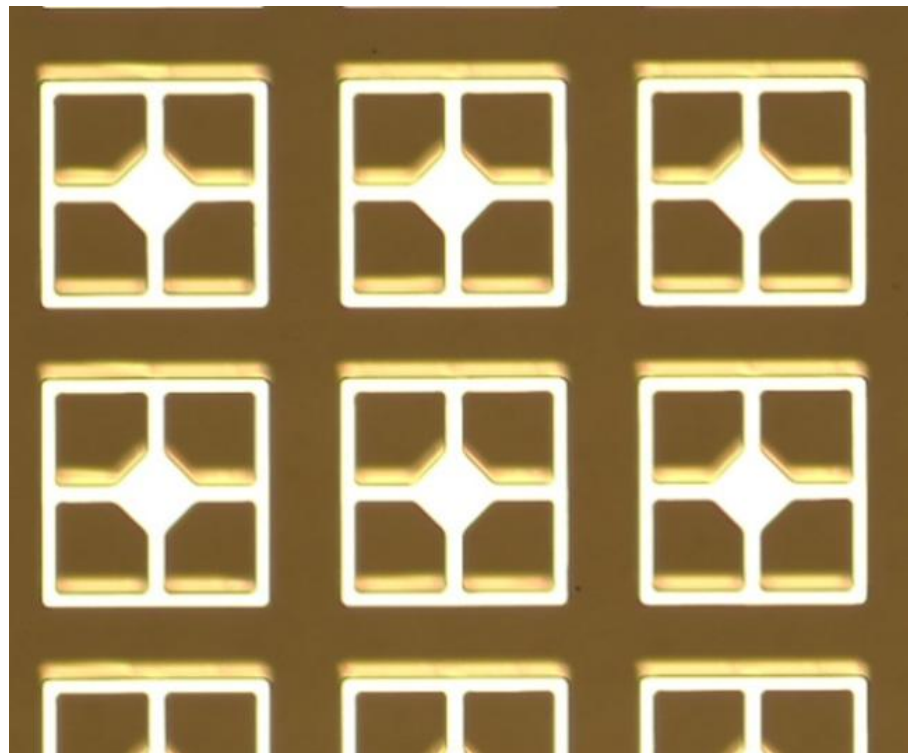


図 3. 第 1 層と第 2 層の FZP 素子パターンのずれ

図・表・数式 4  
Figures, Tables and  
Equations 4

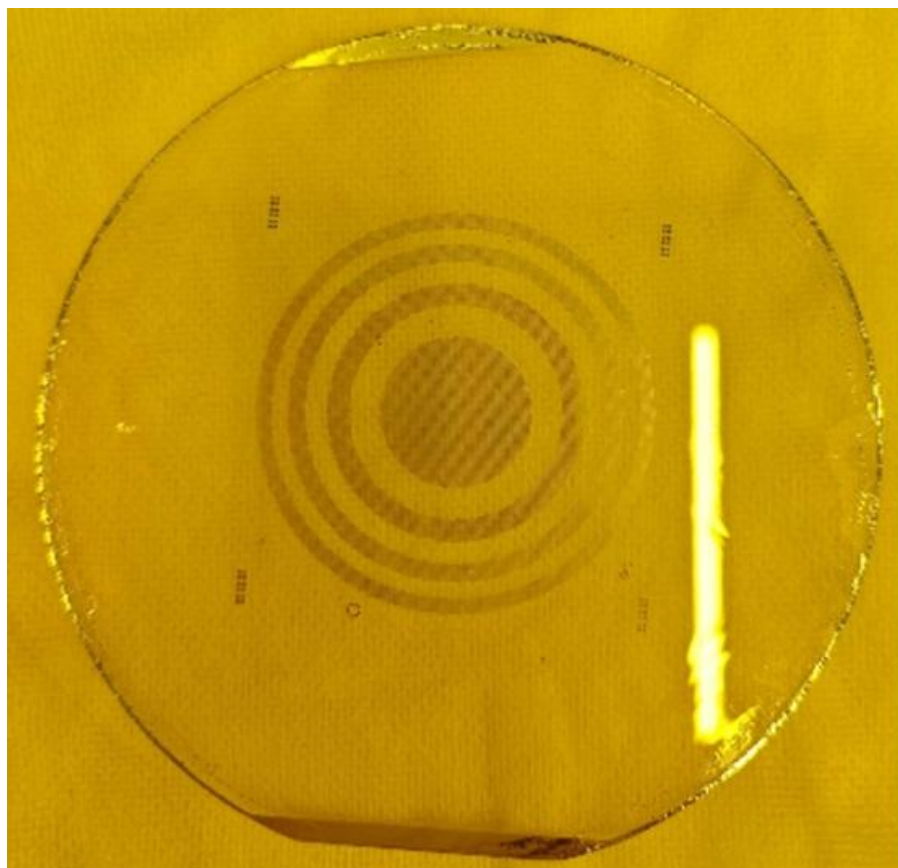


図4. 既成BCBフィルムに形成したFZP。Alスパッタ時にBCBフィルムが反りかえった。

図・表・数式 5  
Figures, Tables and  
Equations 5

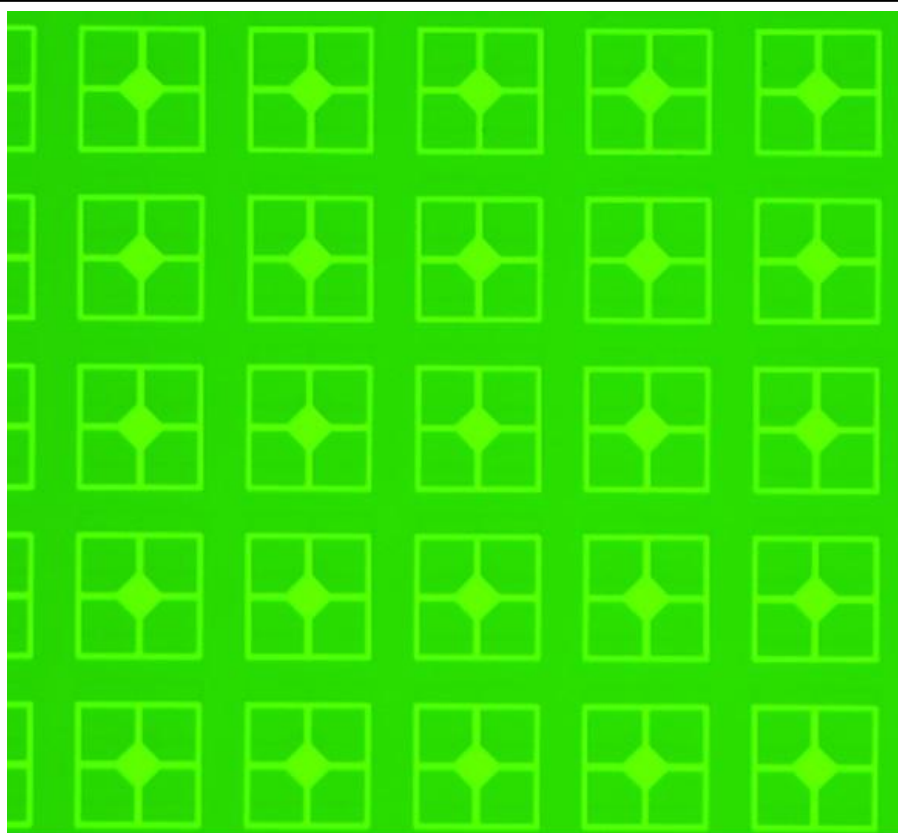


図5. 既成BCBフィルム上のFZPパターン

その他・特記事項 (参考  
文献・謝辞等)  
Remarks(References and  
Acknowledgements)

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

|  |    |
|--|----|
| DOI (論文・プロシーディング)<br>DOI (Publication and Proceedings) |    |
| 口頭発表、ポスター発表<br>および、その他の論文<br>Oral Presentations etc.   |    |
| 特許出願件数<br>Number of Patent Applications                | 0件 |
| 特許登録件数<br>Number of Registered Patents                 | 0件 |