

光ディラックコーンの実証研究

Keywords: フォトニック結晶, メタマテリアル, 微小共振器, 量子ドット, ポラリトンナノファイバー

機能性材料研究拠点 特命研究員

迫田 和彰

SAKODA.Kazuaki@nims.go.jp | https://samurai.nims.go.jp/profiles/sakoda_kazuaki?locale=ja



研究の背景

輻射場を設計・制御することで物質の光学的性質が改変できることの発見は、現代光学の大きな成果の一つです。ナノテクノロジーを用いた各種の微細加工技術によって、光波領域のデバイス作製が可能になりました。高性能な発光素子, 光計測, 光通信, 光情報処理などの分野で革新的な技術開発が進んでいます。

研究の狙い

フォトニック結晶, メタマテリアル, 微小共振器, ナノファイバーなどを利用して輻射場制御を実現します。また, 量子ドットなどの半導体ナノ構造を利用した, 先進的光源の開発を進めています。NIMSの実験グループが行う材料・デバイス開発をサポートするための定量的な理論解析を実施するとともに, 新しい光学現象を予測する萌芽研究にも取り組んでいます。

最先端研究トピックス

フォトニック結晶(PhC)や周期配列したメタマテリアルでは, 波数空間の原点(Γ 点)に等方的で直線的な光の分散関係(光ディラックコーン)を実現できます(K. Sakoda, Opt. Express, 2012)。光ディラックコーンを用いると実効的な屈折率をゼロにすることができ, 透明マントや任意形状のレンズ, 無損失屈曲導波路などが実現できるので, 新しい微小光学回路の形成原理として注目されています。同じ手法を用いて, 半導体中の電子の有効質量をゼロにすることも可能であることから, 新原理に基づく高易動度・低損失電子デバイスの開発も期待されます(Yao & Sakoda, J. Phys. Soc. Jpn., 2017)。

NIMSの実験研究者と共同で光ディラックコーンの実証研究を進めています。図1は, ナノテクノロジー融合ステーションの池田直樹氏に電子線リンググラフィで作製していただいた, SOI基板上のフォトニック結晶で, 試料構造の異なる7つのPhCが1枚の基板上に作製されています。図2は, 機能性材料研究拠点の黒田隆氏に, 顕微分光の手法で測定していただいた7つのPhCの反射スペクトルで, 反射ピークと Γ 点の固有モードに期待される周波数の比較から, 光ディラックコーンの形成が確認できました。

この他にも, ZnOナノファイバーによる低曲げ損失光導波路の考案や, 化学合成で作製するII-VI族半導体ナノ結晶の電子状態の解析(モスクワ大学との共同研究), 励起子アハラノフ・ボーム効果を実現するナノ構造の考案などを達成しました。また, 微小共振器による非古典光発生や非線形光学効果の効率化の研究などを行っています。

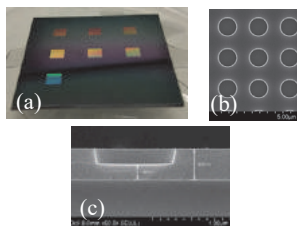


図1 (a) PhCを作り込んだSOI基板。(b) 上面と, (c) 側面のSEM像。

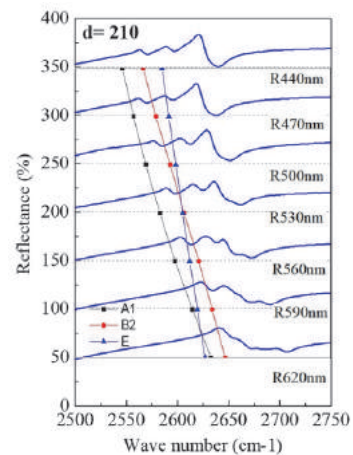


図2 反射ピークとモード周波数の比較

- 文献
- ・N. N. Schlenskaya, Y. Yao, T. Mano, T. Kuroda, K. Sakoda et al., Chem. Mater. **29**, 579 (2017).
 - ・H. Takeda, K. Sakoda, Opt. Express **25**, 9986 (2017).
 - ・R. B. Vasiliev, Y. Yao, K. Sakoda et al., Phys. Rev. B **95**, 165414 (2017).

まとめ

- 中赤外光ディラックコーンの実証
- ZnOナノファイバーによる低曲げ損失光導波路の考案
- II-VI族半導体ナノ結晶の電子状態の理論解析
- 励起子アハラノフ・ボーム効果を実現する試料の考案

実用化への目標

- フォトニック結晶による面発光量子カスケードレーザー
- ポラリトンナノファイバーによる低曲げ損失光導波路
- 微小共振器を利用した高効率非古典光子源
- ゼロ有効質量による高易動度電子デバイス