

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月28日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
国立研究開発法人物質・材料研究機構
機能性材料研究拠点
[職・氏名]
特命研究員・迫田 和彰
[課題番号]
JPJSBP 120214202

1. 事業名 相手国: リトアニア (振興会対応機関: RCL) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 分極反転をもつ GaN マイクロ共振器の開発

(英文) Development of GaN optical microresonators with polarity inversion

3. 共同研究実施期間 令和3年4月1日 ～ 令和5年3月31日 (2年0ヶ月)【延長前】 令和3年4月1日 ～ 令和5年3月31日 (2年0ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Vilnius University, Professor, Roland Tomasiunas

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		2,140,652 円
内訳	1年度目執行経費	548,952 円
	2年度目執行経費	1,591,700 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	5名
相手国側参加者等	6名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	0()
2年度目	0	0	2()
3年度目			()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

大きなバンドギャップと大きな非線形感受率をもつことから、GaN は青色等の短波長領域における波長変換材料として期待が大きい。リトアニアチームが初期段階の開発に成功した分極反転構造を有する GaN 二層膜は、第 2 高調波発生(SHG)に適用した場合、基本波と第 2 高調波の重なり積分を従来よりも格段に大きくできる可能性があり、高効率な SHG の実現が期待できる。そこで、本研究では、GaN マイクロ共振器による電磁波共鳴と位相整合も利用することで、さらに高効率な SHG の実現を目指した。具体的には、リトアニアチームが主に高品質な分極反転 GaN 二層膜の作製を担当し、日本チームが主にマイクロ共振器の設計と製作を担当した。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

日本チームが、GaN マイクロディスク共振器について、高 Q 値 ウィスパーリング・ギャラリーモード(WGM)による SHG の位相整合を見出した。具体的には、図1に示すような分極反転を有する GaN 二層膜からなるマイクロディスクについて、方位量子数 m 毎に共振モードの固有各周波数 ω を有限要素法で算出して、基本波(ω_f, m_f)と第 2 高調波(ω_s, m_s)で、 $\omega_s = 2\omega_f$ と $m_s = 2m_f$ を同時に実現する共振器構造を見出した。その際、 z 座標が正の領域と負の領域とで 2 次の非線形感受率テンソル χ の符号が逆転することから、第 2 高調波の電場の z 成分が、境界面($z = 0$)に関して反対称である必要が有るが、上記の共振器構造はこの条件も満たしている。

実際の素子作製では GaN 二層膜をサファイア基板上に作製することが想定される。その場合、共振モードが基板側へ向かって回折することにより、共振の Q 値の低下が危惧されたが、今回の解析の結果、 m_s が 30 以上の共振モードを用いることで 1 万を超える Q 値が実現できることも分かった。この研究成果は目下、論文投稿の準備中である。

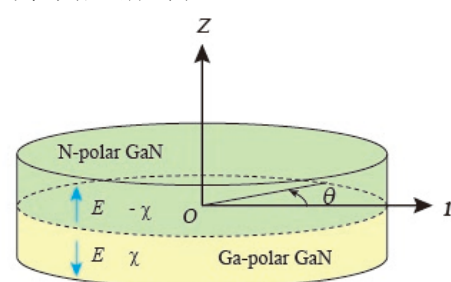


図1 GaN 二層膜を用いたマイクロディスク共振器。分極反転により、 z 座標が正の領域と負の領域とで、2 次の非線形感受率テンソル χ の符号が逆転する。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

分極反転をもつ GaN 二層膜による高効率 SHG 実現のアイデアは、本共同研究の構想段階でリトアニアチームから提供されたものである。また、計算で想定した膜構造(GaN の膜厚や基板の材質など)も、リトアニアチームの研究成果に基づいている。その一方で、日本チームは有限要素法による電磁場解析で多くの経験を持っており、両者が協力することで、効率的な SHG が可能な素子構造を見出すことができた。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

可視レーザー光の波長変換は、高精細なレーザープロジェクター等、各種の応用が期待される重要技術である。特に、GaN などの窒化物半導体は一般にバンドギャップが大きく、短波長領域(青色領域)での実用化が期待されている。従来、ニオブ酸リチウムによる疑似位相整合 SHG がこの目的に用いられてきたが、最近の

研究から GaN はニオブ酸リチウムに匹敵する大きな非線形感受率をもち、しかも、分極反転した二層膜が作製できることが分かってきた。これらの性質を利用することで、従来とは異なる位相整合技術による高効率 SHG が期待されたが、本研究によってその具体的な方策を提示することができた。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

本共同研究では、大学院生を含む若手研究者の交流を積極的に行う構想であったが、あいにく、コロナ禍のために海外渡航を行うことができず、最終盤の時期になってようやくリトアニアから 2 名の研究者が来日できたのみであった。この点、たいへん残念である。その一方で、日本チームの姚遠昭は有限要素法による電磁波解析の成果などが評価されて、テニュアトラックではあるが筑波大学の研究員に採用された。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

GaN 二層膜による位相整合には、本研究で検討したマイクロ共振器を用いる方法のほかにも、平板型導波路を用いる方法も可能である。また、マイクロ共振器を利用する場合、入出力光は自由空間を伝播させる方法や、入出射にチャンネル導波路を用いる方法などが想定される。前者は簡便で性能の初期評価に適しているが、現実的な素子製作では後者が必須である。今後、これらの素子構造の設計、製作と性能評価につなげたい。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

特に無し。