

# 論文審査の結果の要旨

氏名： 肖 廷輝

本論文は、振動分光のための第 IV 族オンチップ光学デバイスの開発と実証に関する研究成果をまとめたものであり、全 6 章から構成されている。

第 1 章は本論文全体の序論である。赤外分光法やラマン分光法を含む振動分光法は、分子振動を非侵襲的に証明する有力な光学技術であり、物理的、化学的、生物学的な分子サンプルの分析が可能である。固体、液体、気体でのサンプル研究における高い汎用性により、振動分光法は、化学物質の検出、病気の診断、環境モニタリング、産業プロセス制御など、さまざまな用途に使用されている。しかし、残念ながら、このような技術のほとんどは、依然として実験室環境に限定されたままである。これは、適度な感度を備えた振動分光装置がバルキーで、また高価であることが原因の一つになっている。オンチップ光学デバイスの実現は、低コストでコンパクトかつ高い信頼性を持つという利点により、上記の問題に対する有望な解決策として期待できる。オンチップ光学デバイスでは、さまざまな統合プラットフォームが開発されており、それらには貴金属、二次元材料、カルコゲナイドガラス、グループ IV 半導体(炭素、シリコン、ゲルマニウム)を含む幅広い光学材料が含まれている。中でも、グループ IV 半導体は、CMOS 互換の製造条件と全誘電体環境による統合のために成熟した低損失材料プラットフォームを提供する。ただし、従来のオンチップ光学デバイスの品質と構造設計は限られているため、振動分光法用のオンチップグループ IV 光学デバイスの実現は依然として困難である。本博士論文では、低コストで高感度の振動分光法を実現するために制御可能な光と物質の強い相互作用を備えたオンチップグループ IV 光学デバイスを複数提案し、実験的に実証した。続く第 2 章では、本論文で用いた要素技術の解説とその背景となる理論がまとめられている。

第 3 章では、赤外分光法用のオンチップゲルマニウム光学デバイスについて説明している。まず初めに、この博士研究で開発された新しい懸垂膜ゲルマニウム統合プラットフォームを紹介し、続いて、この統合プラットフォームに基づいて、六方格子ゼロセル光学結晶キ

ャビティ、光学結晶ナノビームキャビティ、およびマイクロリング共振器を含む 3 種類のオンチップ高 Q 共振器が 1 つずつ実証された。

第 4 章では、ラマン分光法用のオンチップシリコン光学デバイスについて説明している。スパイラルナノフラワーとナノディスクアレイを含む 2 種類のシリコンデバイスが設計されており、高感度ラマン光学活性 (ROA) 用に実験的に実証された。

第 5 章では、高い再現性を持つ表面増強ラマン分光法のために、オンチップカーボン光学デバイス、つまり化学的な増強効果を備えた多孔性カーボンナノワイヤアレイ (PCNA) の活用が実証された。

第 6 章は、本研究の成果のまとめと、今後の展望が示されている。

本博士論文では、振動分光法用のオンチップグループ IV 光学デバイスを提案し実験的に実証した。本研究で示した制御可能な光と物質の強い相互作用を備えたグループ IV 光学デバイスの持つ CMOS 互換性、高いコンパクト性、および高い信頼性は、分析化学、薬学、環境安全、病理学等の幅広い学術・医療・産業における振動分光法の幅広い実用的応用が期待され、その有望性を示した本論文の業績は高く評価できる。

なお、本論文第 3 章の主要部分は合田圭介、Zhenzhou Cheng、Hon Ki Tsang、竹中充、Sze Yun Set、Chin-Yao Chang、Wen Zhou、Ziqiang Zhao と、第 4 章は合田圭介、Zhenzhou Cheng、Zhenyi Luo と、第 5 章は合田圭介、Zhenzhou Cheng、Nan Chen、Zhenyi Luo との共同研究であるが、いずれにおいても論文提出者が主体となって実験設計から解析及び理論的考察を行っており、論文提出者による寄与が十分であると判断する。また、論文提出者を第一著者として、本論文第 3 章は OSA Publishing の Optics Letters 誌及び Photonics Research 誌に、第 4 章 2 項は Wiley Publishing の Small 誌に公表済みである。

以上の理由により、論文提出者 XIAO, Tinghui に博士 (理学) の学位を授与できるものと認める。