

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 鉄矢 諒

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 理工博甲第57号

学位授与年月日 令和4年9月16日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学 府・専攻名 理工学府・数物・電子情報系理工学専攻

学位論文題目 Silicon photonic crystal optical antennas and their applications
(シリコンフォトリック結晶光アンテナとその応用)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 馬場 俊彦
横浜国立大学 教授 新井 宏之
横浜国立大学 教授 荒川 太郎
横浜国立大学 准教授 久我 宣裕
横浜国立大学 准教授 西島 喜明

論文及び審査結果の要旨

近年、自動運転技術の進展と共に、3次元イメージセンサである LiDAR の開発が世界的に盛んである。特に、シリコンフォトリック技術と周波数変調連続波 (FMCW) 測距方式を組み合わせた完全非機械式オンチップ LiDAR の実現が待望されている。本研究は、フォトリック結晶スローライト導波路回折格子 SLG による非機械式ビームスキャナを用いた LiDAR に取り組み、特に送信ビームの狭幅化と送受信効率の向上を可能にする SLG のサブアレー化とその応用を検討した。まず光伝搬解析を行い、送信ビーム形状はエレメントファクタとアレーファクタの積で決まること、アレー化によって 0.02° の狭ビームが可能なること、最適設計した際のサイドローブレベルはメインピークの 5%程度となることを示した。また送受信効率を見積り、送信効率はサブアレー化なしの 75%に比べて4サブアレーで 62%と低下するものの、受信効率は 3.4 倍に増大することを示した。実際にシリコン CMOS プロセスを用いて試験的な素子を製作、評価したところ、4サブアレーではビーム幅が 0.02°

まで狭幅化し、FMCW 測距実験より総合評価される信号強度は 12dB 増大した。この大きな増大は、受信効率の向上に加え、サブアレーによるビーム狭幅化が対象物上の光スポットの輝度を高めたことも相乗的に作用したと説明された。またサブアレーでは、製作揺らぎにより各 SLG の出射ビームにわずかなばらつきが生じ、これが最終的なビーム幅を拡げ、サイドローブレベルを増大させた。そこで各 SLG に搭載した熱光学ヒータを調整し、これを補正した。このような SLG 素子の応用例として、2 つの受信点間の空間光通信の高速な切り替えを試みた。その結果、25Gbps の強度変調信号の伝送が確認され、10 μ s という短時間での受信点切り替えを実証した。さらに、2 サブアレー SLG を 32 個並列アレー化し、光スイッチツリーによってそのうちの 1 個のサブアレーを選択する 2 次元ビームスキャナを構築した。さらにこのスキャナに加え、Ge バランス型フォトダイオードを含む FMCW コヒーレント検波器を集積したオンチップ FMCW LiDAR を、同様の CMOS プロセスにより製作した。このチップをプリント基板上に簡易実装し、全ての SLG を熱光学ヒータにより自動校正し、波長掃引と SLG 切り替えにより 2 次元ビームスキャンを実行した。それぞれのビーム解像点に対して FMCW 測距信号を取得したところ、最大で 4220 点の 3 次元点群画像の取得に成功した。以上の成果と公表論文の状況より、本研究は博士論文として十分に価値があるものと判断された。