

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山田 正裕

本論文は、「ニオブ酸リチウム結晶への分極反転ドメインの作製と分極反転ドメインを利用した光学デバイスの研究」と題し、ニオブ酸リチウム結晶基板中に、初めて基板表面に垂直なドメイン壁を有し基板の厚さ全体に亘る任意の形状の分極反転ドメインを形成することに成功し、更にその技術を応用することで、従来よりも一桁以上も高性能な擬似位相整合型非線形光学素子、また、新しい概念の電気光学素子の実現に成功したものであり、8つの章から構成されている。

まず、第一章では、光エレクトロニクス分野における本研究の位置付けと、本研究の背景として本研究で利用した光学結晶材料であるニオブ酸リチウムの概要及び非線形光学素子・電気光学素子の基礎について述べた上で、今後こうした素子の開発を強力に推進し発展させていく上で本研究の中心課題である分極反転ドメイン形成法開発の重要性が述べられており、本研究の目的が明らかにされている。

次に第二章では、本研究の中心テーマであるニオブ酸リチウム結晶への分極反転ドメインの作製法の開発に関する記述があり、本研究により初めて結晶表面に垂直で結晶の厚さ全体に亘るようなまさに非線形光学素子や電気光学素子に適した分極反転ドメインの形成に成功したことが記されている。従来の方法では、分極反転ドメインは、ニオブ酸リチウム結晶の表面近傍にしか形成できなかった。本研究により開発された方法は、電子線照射による方法と直接外部電圧印加であり、それらについて詳細に述べられている。また、分極反転のメカニズムに関しても記述があり、特に、直接外部電圧印加法において+z面に形成された電極形状に忠実なドメインが形成される理由と電圧パルストレイン印加が均一な周期分極反転構造の形成に有効であった理由についての考察がされている。

第三章には、本研究による分極反転ドメイン形成技術の非線形光学素子への応用に関する記述があり、初めて近赤外の半導体レーザー光を基本波としてときの1次の擬似位相整合条件を満足する光第二高調波発生素子 (SHG 素子) の実現し、 $680\%/W\cdot\text{cm}^2$  という従来の素子に比べ1桁以上も大きな変換効率を有する SHG 素子の開発に成功したことが記されている。そして、当時としては驚異的な素子のパフォーマンスを示すことによって本研究によるドメイン形成法が世の中に広く認知されることになったことも記されている。

第四章では、ドメイン形成技術を応用し、電気信号によりアクティブに動作する分極反転ドメインで構成された新しい概念の電気光学素子を提案し、実際に光偏向器・焦点距離可変レンズの機能の原理実験とそれらの機能を1チップに集積した「プログラマブル光分配素子」の開発につ

いて記されている。本研究で提案された分極反転ドメインで構成される電気光学素子は、ドメインの形状を選ぶことで、様々な能動機能が結晶内に実現できること、また、分極反転ドメインは結晶基板中に極めて精度よく作製できるため、1チップ内に様々な光学機能が精度よく配置された光集積素子が簡便に実現されることが述べられている。

第五章では、第四章で提案した分極反転ドメインで構成された電気光学素子を、青色光用広帯域光変調器に応用し、新しい原理で動作する光変調器を開発することによって、パワーが 65 mW・波長が 405 nm の青色レーザー光を直流から 1 GHz まで強度変調可能な素子の実現に成功し、開発した素子は次世代高密度光ディスクの開発に利用されこれに貢献したことが記されている。

第六章では、第五章に記述された光変調器を1チップに6つ精度良く集積することによって、1入力6出力のバルクタイプ光スイッチが実現されたことを記している。この素子は、マルチプラットフォーム化された光ディスクドライブにおいて、一つのレーザー光源から光ビームを各光ディスクに分配するための素子として開発されたこと、また、この素子の実現によって分極反転ドメインで構成された電気光学素子は、その各光学的な機能セルを精度良く配置できるという特長を示されたことが記されている。

第七章では、本研究のその後の発展について記されている。本論文による分極反転ドメイン形成技術は、その後、各方面において、差周波・和周波光の発生素子やパラメトリック発振素子、また、パルス圧縮技術などの非線形光学素子や超高速光偏向素子や変調素子などの電気光学素子などに広く応用され、医療・化学・通信など様々な分野にその応用が試みられるようになったことが記されており、本研究による分極反転ドメイン形成技術の確立が、ドメインエンジニアリング分野が大きく発展するきっかけとなったことが述べられている。

第八章では、本論文のまとめが述べられている。

以上をまとめると、本論文では、ニオブ酸リチウム結晶基板中に、基板の厚さ全体に亘り結晶基板表面に対し垂直なドメイン壁を有する任意の形状の分極反転ドメインを形成する技術が示されている。この技術を利用し、従来よりも一桁以上も高性能な擬似位相整合型非線形光学素子やこれまでにない新しい概念の電気光学素子の実現することにより、本論文による分極反転ドメイン形成技術が極めて有用であることを示した点で、光エレクトロニクスおよび物理工学への寄与は大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。