

# 論文審査の結果の要旨

氏名 前嶋宏志

本論文は 6 章からなり、1 章では赤外線高分散分光を実現するために必要なイメージングレーティングと、そのために必要な光学結晶の要求が述べられ、本論文の主題である CdZnTe 結晶の低温での光学特性測定の重要性が述べられる。2 章では吸収係数測定的手法および特徴が述べられ、3 章でフーリエ分光法による抵抗の違う 2 種の CdZnTe について、それぞれ 2 つの厚さの結晶の 300-8K における測定が示される。4 章では独自に開発したコリメート光測定系による測定が示され、5 章でそれらを統合した結果、また低抵抗の CdZnTe による赤外光吸収の素過程について温度依存性に基づいて考察がおこなわれ、6 章では結論として将来のイメージングレーティング作成に必要な CdZnTe 結晶の選択についてのガイドラインが示される。

中間赤外線領域(10~18  $\mu\text{m}$ )には、 $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCN}$  など宇宙空間に存在する分子線が多数存在し、高分散分光により星間物質や天体についての多くの化学的、力学的情報が得られると期待される。このような観測には、軌道望遠鏡による分光が必要であり、分光素子として高屈折率物質を利用したイメージングレーティングにより、衛星搭載可能なサイズでの高分散分光( $\lambda/\Delta\lambda\sim 30000$ )を実現可能と考えられる。光学素子に使用する光学結晶は、10K 以下の極低温で屈折率 2~3、吸収係数  $\alpha < 0.01\text{ cm}^{-1}$  が要求されることから、CdZnTe が有力な候補という先行研究があった。常温での測定では高抵抗( $\sim 10^{10}\text{ }\Omega\text{cm}$ )結晶の吸収係数は条件を満たし、低抵抗( $\sim 10^2\text{ }\Omega\text{cm}$ )では大き過ぎるが、低温での測定例はなかった。赤外線吸収が自由キャリアによって生じている場合は、極低温で吸収係数が低下する可能性もあり、極低温での測定、また吸収過程の理解に基づく材料選定の指標が求められている。

本論文では、実際に CdZnTe の常温から極低温までの吸収係数を実際に測定することで、CdZnTe による 10~18  $\mu\text{m}$  でのイメージングレーティング実現の可能性を検討した。そのために、低抵抗/高抵抗( $\sim 10^2, \sim 10^{10}\text{ }\Omega\text{cm}$ )の 2 種の結晶について、透過率を測定した。表面での反射による効果を相殺するために、厚さの異なる 2 枚( $t\sim 1, 10\text{ mm}$ )の結晶による透過率の比を利用した。測定ではまずフーリエ分光器を利用した。フーリエ分光法では、干渉を利用して波長分解を行なうことができるが、結晶への入射光が収束光となるため、高屈折率の材料測定では光路差によって検出器上にあるべき焦点位置がずれ、測定強度に系統誤差を生じ、補正が必要である。市販の分光器と液体ヘリウム冷却クライオスタットを組み合わせ、5~6.2  $\mu\text{m}$ , 8.5~20  $\mu\text{m}$  で連続的に室温から 8.5 K までの吸収率測定をおこなった。次に独自に構築したコリメートビームとバンドパスフィルタを用いた平行光による透過率測定を行なった。バンドパスフィルタの制限から測定バンドは 6.5, 10.6, 11.6, 15.1  $\mu\text{m}$  の 4 ヶ所であるが、光路補正が不要である。冷凍機を用いてこれも室温から 8.6 K までの測定を行なった。またこの結果を用いてフーリエ分光法による測

定の焦点ずれの効果を補正した。

高抵抗 CdZnTe の 10~18  $\mu\text{m}$  での吸収係数  $\alpha$  は、温度によらず小さく、測定誤差、系統誤差を考慮した上で 300~8.6 K で  $\alpha < 0.11\text{cm}^{-1}$  という上限値が得られた。これは低温で要求値を満たすという確証ではないが、有望な材料であることを示している。低抵抗 CdZnTe については、300K で  $\alpha = 0.4\sim 0.6\text{cm}^{-1}$ , 8.5K では  $\alpha = 0.5\sim 1.3\text{cm}^{-1}$  と全体に吸収係数が大きく、また低温ほど吸収係数が上昇する傾向と長波長ほど吸収係数が大きい傾向が見られた。そのため抵抗率  $\sim 10^2\ \Omega\text{cm}$  の CdZnTe はイメージング材料には適さないことが示された。

CdZnTe の赤外線吸収過程について、(A) 同一価電子帯サブバンド内の自由ホール遷移による吸収、(B) 軽いホールと重いホール価電子帯サブバンド間の自由ホール遷移による吸収、(C) アクセプター準位に束縛されたホールの価電子帯への遷移による吸収の 3 つの過程を仮定し、低抵抗材料のコリメートビーム測定結果による波長依存性、温度依存性を考慮してモデルパラメータを求めた。アクセプター密度  $N_A = (4.1 \pm 0.7) \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ , アクセプター準位と価電子帯上限のエネルギー差  $E_a = 63 \pm 1\text{meV}$ , 重いホールと軽いホールの有効質量比  $m_h/m_l = 6\sim 8$ , と求まり、類似物質である CdTe の先行研究、抵抗率から予想されるアクセプター密度とも一致した。このことから、低抵抗 CdZnTe の赤外線吸収は、常温では自由ホール吸収が支配的、50K 以下の低温では束縛ホール由来の吸収が支配的であることがわかった。低温で束縛ホールによる吸収がイメージングの要求値を満たす  $\alpha < 0.01\text{cm}^{-1}$  を満たすための束縛ホール密度、またその束縛ホールが常温で自由ホールとなっているときの抵抗率をこのモデルにより計算すると、常温抵抗率  $\rho > 3 \times 10^4\ \Omega\text{cm}$  と予想され、高抵抗 CdZnTe の測定値を説明すると同時に、今後の材料選定への指標をしめした。

本論文は、低抵抗、高抵抗の CdZnTe 結晶の 10K 以下での赤外線吸収率を初めて測定した。イメージング実現に必要な低温での小さな赤外線吸収係数 ( $\alpha < 0.01\text{cm}^{-1}$ ) を確認したわけではないが、少なくとも低抵抗結晶は不向きであることを明確に示し、高抵抗結晶で実現の可能性があること、その場合に必要な常温抵抗率による評価方法を示したことの意義は大きい。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験・解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。