

氏 名 福 田 進  
ふく だ すずむ  
 学位の種類 工 学 博 士  
 学位記番号 論 工 博 第 1305 号  
 学位授与の日付 昭 和 55 年 5 月 23 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当  
 学位論文題目 ACOUSTO-OPTIC PROPERTIES OF TELLURIUM  
 AND SELENIUM AND THEIR APPLICATIONS  
 (テルル及びセレンの音響光学的性質とその応用に関する研究)

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 川 端 昭 教 授 佐々木昭夫 教 授 池 上 淳 一

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、テルル単結晶および非晶質セレンの音響光学的性質を実験的にしらべ、炭酸ガスレーザーの波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光領域において、従来から使用されている音響光学材料に比べて優れていることを見出し、その応用に関する研究をまとめたもので、7章よりなっている。

第1章は緒論で、液体あるいは固体の媒質内を伝播する超音波による光波の回折散乱現象である音響光学効果について、その研究の歴史的背景と現状を概説し、音響光学効果を用いた光偏向器や光変調器などの機能素子への応用の重要性について述べている。さらに、本研究でとりあげた元素半導体であるテルル単結晶および非晶質セレンが、赤外波長  $10.6 \mu\text{m}$  付近で優れた音響光学材料となりうる可能性を指摘し、本研究の根拠とその工学的意義を明らかにしている。

第2章では、波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光を用いてテルル単結晶の示す音響光学効果を評価するため、ディクソン・コーエン法により性能指数を測定している。すなわち、テルル単結晶のx軸およびz軸に沿って伝播する縦波超音波を用い、回折効率を実測している。その結果、テルルが可視光と赤外光の領域で従来から知られている音響光学材料よりも性能指数が大きく、低電力駆動の優れた音響光学素子材料であることを示している。とくにx軸に沿って伝播する縦波を用いた場合には、 $5850 \times 10^{-18} \text{sec}^3/\text{g}$  という大きい性能指数を得ている。つぎに、この性質を利用して光偏向器を試作し、その動作特性を吟味し、音波伝播損失、光吸収、帯域幅、偏向特性、アクセス時間など実用性を左右する要因を挙げて他の材料を用いた光偏向器との優劣を詳細に比較検討している。

第3章では、テルル単結晶が半導体的性質と圧電的性質をあわせ持っている特異な性質に起因する音響光学効果の理論的検討を行なっている。すなわち、テルル内を圧電活性音波が進行すると、それに伴って圧電効果に基づく電気ポテンシャルの波が伝播し、テルル中の自由キャリアがそのポテンシャルに捕えられてキャリア密度波の形でテルル単結晶内を進行することになる。そこで、このキャリア密度波による光回折現象について、異方性を考慮した圧電性結晶に適用できる一般理論を展開し、キャリア密度波の寄与

による光弾性定数テンソルの各成分を表示する理論式を導出している。つぎに、これらの結果をテルルに適用し、キャリア密度波による回折光強度についてキャリア濃度や音波周波数などに対する依存性を計算し、通常いわゆるポッケルスの光弾性による光回折と分離して観測できることを示し、実験によりこのモデルの妥当性を明らかにしている。

第4章では、テルル単結晶の示す顕著な光学的非線型性と音響光学効果に着目し、波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光を基本波とする光第二高調波発生について検討している。その結果、新しい位相整合法として音響光学効果を用いる方法を提案している。この方法は、入力基本波と出力第二高調波の間に存在する位相の非整合分を、媒質内を伝播する超音波の位相によって補足して位相整合条件を満足させるもので、X軸に沿って伝播する縦波を用いた実験では約  $10^{-5}$  という高い波長変換効率を実現している。

第5章では、非晶質セレンについて  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光に対する音響光学的性質の研究結果を述べている。すなわち、その性能指数をディクソン-コーエン法で測定し、この物質もテルル単結晶に匹敵する顕著な音響光学効果を示す実用上興味ある物質であることを指摘している。また、光弾性定数の波長依存性を測定し、その結果について一般の誘電体に関する光弾性理論を適用し、この物質における光弾性が孤立電子対P状態と反結合P状態間の遷移に起因して発生することを結論している。さらに、この材料のガラス転移点が約  $30^\circ\text{C}$  にあるため、室温付近における音響的ならびに光学的性質が非常に不安定であるという実用上の問題点を解決する方法として、たとえば砒素を5%あるいは10%混入することによりガラス転移点がそれぞれ約  $60^\circ\text{C}$  あるいは  $80^\circ\text{C}$  に上昇するため、室温付近における特性の安定性が増し、音響光学材料としては純セレンより優れたものになることを明らかにしている。

第6章では、前章で得られた成果に基づき、非晶質セレンを波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光用の導波路および導波型の変調器に応用した結果を述べている。変調器はPZT圧電磁器板上に金属クラッド付きの非晶質セレン導波層を付けた構造で、圧電振動による光弾性効果を利用した位相変調により、中心周波数  $211.2 \text{ kHz}$ 、帯域幅  $5.4 \text{ kHz}$ 、半波長電圧  $55 \text{ V}$  を得ている。

第7章では、結論として得られた成果を要約している。

### 論文審査の結果の要旨

音響光学効果を用いた光偏向器や光変調器は、レーザ技術および超音波技術の進歩に伴ない、現在、ディスプレイ、光通信、光情報処理などを目的とした機能部品として重要度を増し、広く使用されるようになってきている。しかし中赤外領域で優れた光源である炭酸ガスレーザ光（波長  $10.6 \mu\text{m}$ ）に対して有効に働らく音響光学材料はまだ見出されていないので、この方面の材料探査が強く望まれていた。本論文は、テルル単結晶および非晶質セレンが波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光に対して優れた音響光学材料であることを示し、上記目的への応用について検討した結果をまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

(1) テルル単結晶内でx軸およびz軸に沿って伝播する縦波音波を用い、 $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光の回折効率を測定し、音響光学材料としての性能指数を求めたところ、従来から知られている他の音響光学材料の値よりも大きいことを明らかにした。

(2) 光偏向器としてテルル単結晶を用いる場合、考慮を払うべき要因として光学活性の存在、光吸収の異方性、音波伝播損失などを挙げ、回折効率、帯域幅、偏向特性およびアクセス時間などと材料定数との関係を明らかにし、光偏向器の設計指針を具体的に与えた。

(3) テルルのような圧電半導体については、不純物領域でのみ解析されていたキャリア密度波に基づく光回折理論を、媒質の異方性をも考慮に入れて真性領域にまで拡張し、キャリア密度波の寄与による光弾性定数テンソル成分の理論式を導出している。つぎに、この結果をテルルに適用し、回折光強度のキャリア濃度依存性や音波周波数依存性を計算し、いわゆる普通の光弾性による光回折とキャリア密度波による光回折とを分離して観測できることを示し、実験によりこの理論式の正当性を実証した。

(4) 光第二高調波発生に対する従来の位相整合法は、結晶の異方性を利用して屈折率の整合をとる方式であるが、本研究ではテルル単結晶のもつ顕著な光学非線型性と音響光学効果を巧みに利用した位相整合法を提案している。この方法は超音波周波数を僅かに変えて整合させ得る簡単な方法で、実用上の利点が大きい。また、テルル以外の他の非線型物質やパラメトリック波長変換などへの応用も可能である。

(5) 非晶質セレンについて赤外光の光回折実験を行い、テルル単結晶に匹敵する音響光学材料であることを見出した。非晶質材料は製法や加工性の点で工学材料として興味があるが、非晶質セレンのガラス転移点は室温付近にある。この欠点を改善するため砒素などを数%以上添加することによりガラス転移点を上昇させ、実用上問題はないと指摘している。さらに波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外光の導波路としても非晶質セレンが使用できることを実験的に明らかにしている。

以上要するに、本論文はテルル単結晶および非晶質セレンについて、波長  $10.6 \mu\text{m}$  の赤外領域における音響光学効果とその応用に関して研究し、多くの有益な知見を得たもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。