

氏 名 (本籍)	まきの こうたろう 牧 野 孝太郎 (愛 知 県)
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 6400 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	Coherent phonon spectroscopy and control of phase change in Ge-Sb-Te phase change data storage media (Ge-Sb-Te 相変化記録材料におけるフェムト秒コヒーレントフォノン分光と相変化制御)
主 査	筑波大学教授 工学博士 重 川 秀 実
副 査	産業技術総合研究所上席研究員 Ph. D 富 永 淳 二
副 査	筑波大学准教授 博士 (理学) 加 納 英 明
副 査	筑波大学准教授 博士 (工学) 長 谷 宗 明

論 文 の 内 容 の 要 旨

Ge-Sb-Te 系相変化記録材料は、すでに DVD-RW などの光ディスクに採用されているカルコゲン化合物 (アモルファス半導体) であり、また最近では phase change random access memory (PRAM) と称される不揮発電気メモリデバイスの材料としても用いられている。記録にはアモルファス-結晶相変化を利用しており、相変化に際して生じる反射率及び電気抵抗率の変化を信号として読み取ることによりデジタルデータの記録を実現している。相変化は、一般的にはレーザー光や電気パルスによる加熱によって制御が可能である。これまで Ge-Sb-Te 系相変化記録材料においては、フェムト秒パルスレーザーを使った電子励起による手法を用いても相変化に要する時間が 1 ns 程度であると報告されており、ピコ秒程度まで相変化時間を短縮する為には、単純に電子励起のみを行っただけでは到達することができないのは明らかである。本研究では、特に超格子構造の Ge-Sb-Te 系相変化記録材料の記録速度向上を目指し、フェムト秒パルスレーザーを使用した「ダブルポンプパルス照射によるコヒーレントフォノンモードの選択的励起」および「直線偏光パルス照射による結合選択的励起」の 2 つの手法を提案し、コヒーレントフォノン分光と組み合わせた測定を行って、その有効性を確かめた。

本研究では、まず「ダブルポンプパルス照射によるコヒーレントフォノンモードの選択的励起」と称する手法を考案し、実験によりこの手法の有用性を確かめた。具体的には、ダブルポンプパルスの時間間隔 Δt を 141 fs とした場合ではフォノン周波数は元々の disorder 相の周波数と対応する 3.81 THz であったが、 Δt を 276 fs に近づけるにつれて周波数が徐々に低下し、 $\Delta t = 276$ fs の場合では order 相の周波数である 3.69 THz まで低下することが分かった。さらに、このコヒーレントフォノン信号のウェーブレット変換による時間-周波数解析により、構造変化が 1 ps 以内という超高速の時間内に誘起された可能性が示された。

また、特定の弱い結合に対する選択的励起を行い、相変化制御の実現を目指した。相変化モデルでは 4 配位位置から 6 配位位置へ Ge 原子が移動する際に 1 つの Ge-Te 結合が切れ、2 つの新しい Ge-Te 結合が形成される。結合のエネルギーの序列を考えると、この時に切断される結合は他の結合と比較してエネルギーが

低く、弱いと考えられる。従って、他の結合に影響を与えずにこの弱い Ge-Te 結合のみを何らかの方法により切断できるとすれば、より少ないエネルギーで相変化を誘起できると期待される。励起パルスはレーザーの出口より直線偏光となっているが、光路の途中に設置した 1/2 波長板を回転させることにより直線偏光の偏光角を変化させている。偏光角 θ は 0 度と 180 度が s 偏光、90 度が p 偏光に対応している。また、プローブパルスの偏光は p 偏光に固定して測定を行った。16 及び 78 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ それぞれの励起フルエンスにより測定して得られたコヒーレントフォノンの振幅と周波数の θ 依存性を見ると、16 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ の場合では θ を 90 度まで回転させた場合には振幅が大きくなるとともに周波数が低下し、さらに 180 度まで回転させると振幅、周波数ともにおおよそ 0 度の値まで戻ることが明らかとなった。

さらに、フェムト秒再生増幅器を用いた高密度光励起によるコヒーレントフォノン分光を行った。相変化に関与するフォノンモードの励起密度依存性から超格子 Ge-Sb-Te の優れた相変化特性が確認された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

Ge-Sb-Te 系相変化記録材料は、松下電器産業が 1990 年代に開発した DVD ディスク等に採用されている重要なアモルファス半導体材料である。著者の研究では、特に最近、省電力特性に優れていると分かってきた超格子構造の Ge-Sb-Te 系相変化記録材料に対してコヒーレントフォノン分光を適用し、光パルス列によるモード選択的励起、および直線偏光パルスによる結合選択的励起の 2 つの異なるアプローチを提案し、百数十 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 程度以下のこれまでより 2 桁以上低い励起フルエンスによって、Ge-Sb-Te 超格子薄膜中に誘起された相変化ダイナミクスをコヒーレントフォノン周波数の低下から明らかにした。中でも、1 ps 以内という非常に超高速で誘起された非熱的な相変化現象は、Ge-Sb-Te 系相変化記録材料を超高速光デバイスとして応用する際には、テラヘルツ周波数でのスイッチングの可能性を示唆しており、今後の応用も含めた発展性を秘めている。また、偏光を用いた相変化スイッチングにも当該分野における研究の独創性があり、博士学位論文としての価値を十分認めるものである。

平成 25 年 2 月 19 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。