

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 B5G超低消費電力高効率ネットワーク構成に向けた高機能材料の研究開発
- ◆受託者 国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、国立大学法人東北大学
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和5年度(3年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額80百万円(令和3年度30百万円)

2. 研究開発の目標

テラヘルツデバイス/光通信デバイス向けの新規相変化材料を探索し、低損失材料を見出す。その利用例として、集積型光スイッチに装荷し、低消費電力動作を実証する。探索した新規相変化材料は、そのテラヘルツ域の誘電特性と通信波長帯の光学特性を評価し、用途に応じた材料の使い分けを判断するためのデータとして解析し整理する。さらに、応用上重要な相変化材料の初期化工程やテラヘルツ光源・受光器デバイス向けに相変化材料の構造最適化ツールを開発する。

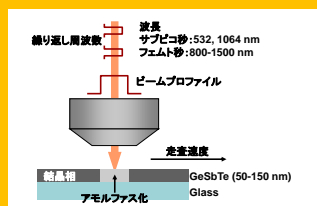
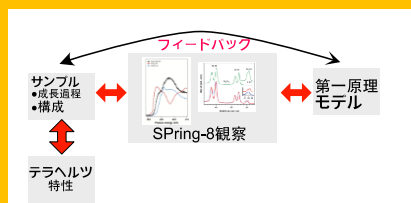
3. 研究開発の成果

研究開発目標

研究開発成果

研究開発項目1 テラヘルツ帯機能材料及び自己保持型光スイッチ用相変化材料の研究開発

テラヘルツデバイス/光通信デバイスに資する低損失の新規相変化材料開発とその周辺技術開発



新規材料の電子構造理論モデル構築(1-a) 相変化材料の状態初期化技術(1-c)

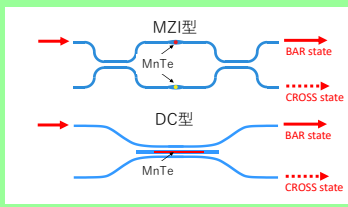
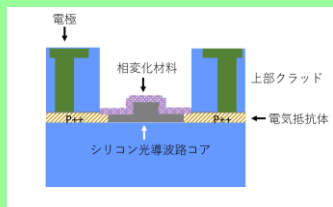
研究開発項目1-a) テラヘルツ帯光物性と相変化機構解明 20nm厚のGe₂Sb₂Te₅薄膜で0.1mm角の均一な初期化(アモルファス化)に成功、フェムト秒光パルス照射によるMnTeの反射率変化を観測。計算クラスター・モデリング環境を整備、誘電応答・光応答を予測できる**MnTeの相変化材料モデル**を開発。

研究開発項目1-b) テラヘルツ帯及び光スイッチ用新規二元相変化材料開発 スパッタ条件による相状態や配向性の変化、 $\alpha \rightarrow \beta$ 変化による**光学物性の変化**、**多形変化による電気物性の変化**を把握。界面応力による多形変化の制御に成功。

研究開発項目1-c) テラヘルツ特性・光通信波長特性評価と新規三元系相変化材料開発 Co-Ge-Te、Hf-Ge-Te、Nb-Sb-Teの成膜条件確立。テラヘルツ波時間領域分光法による評価系を構築。分光エリプソメトリから α 相のMnTeが**光通信波長帯で低損失**であることを発見。

研究開発項目2 相変化材料を用いた省電力高密度光マトリクススイッチの研究開発

探索の結果見出された新規相変化材料を、シリコンフォトニクス光スイッチに装荷し、その低消費電力動作を実証



新規材料を装荷したシリコンフォトニクスの試作(2-a)

新規材料を装荷した光スイッチの設計と不揮発動作実証(2-b)

研究開発項目2-a) 相変化材料を装荷したシリコンフォトニクス光スイッチ製造技術 装荷に適したSOI層の高濃度ドーパ部による加熱機構を検討、イオン注入など必要工程の条件を最適化。装荷サイト形成工程用フォトマスクを設計・試作。単一ターゲットによる装荷用MnTeの成膜を検討、相分離や酸化など劣化要因を解析。

研究開発項目2-b) 相変化材料を用いたシリコンフォトニクス光スイッチの設計と評価 MnTeの $\alpha-\beta$ 相間転移を利用した、長さ160mmでpシフト可能な不揮発移相器を設計。0.2Wの消費電力で、50ms以下で1000°Cを越える昇温が可能な、シリコンフォトニクスのヒータ構造を設計した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

| 国内出願 | 外国出願 | 研究論文 | その他研究発表 | 標準化提案・採択 | プレスリリース 報道 | 展示会 | 受賞・表彰 |
|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | 6 (6) | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) |

※ 成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

・新規相変化材料 MnTe_α 相が、光通信波長帯において、相変化材料としては異例の低損失であることを発見、暫定結果を国内学会で報告

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1: テラヘルツ帯機能材料及び自己保持型光スイッチ用相変化材料の研究開発

1-a) テラヘルツ帯光物性と相変化機構解明

(i) 相変化スイッチング安定化のための材料・光励起法の探索と最適化

相変化材料を用いた光波・電磁波制御デバイスのスイッチング、チューニングに不可欠なアモルファス化過程を大面積かつ均一に実現するため、近赤外域デバイスを想定し材料探索と励起波長の最適化を行う。サブナノ秒/フェムト秒パルスによるGeSbTe、XGeTe、XSbTe薄膜の大面積均一アモルファス化を実施する。

(ii) 相変化材料のテラヘルツ帯物性の解明

相変化材料の電子構造をモデル化し、動的なモデリングのプロセスを構成する。電子的・構造的情報は、SPRING-8での新たな専用測定によって補完する。また、プロセスパラメータや材料組成の最適化を実施する。大面積スイッチングのための相変化材料の特性と、テラヘルツ領域での相変化材料の電子的挙動の最適化を実施する。

1-b) テラヘルツ帯及び光スイッチ用新規二元系相変化材料開発

前年度の知見を基に、元素ドーパ型MnTe薄膜やX-Te(X: 遷移金属等)二元系相変化薄膜をスパッタリング成膜により作製し、光学物性を評価すると共に、相変化による物性変化(反射率、屈折率、電気物性など)を調査し、テラヘルツ帯及び光スイッチに適した相変化材料を創成する。

1-c) テラヘルツ特性・光通信波長特性評価と新規三元系相変化材料開発

(i) 低損失三元テルライド相変化材料の開発

X-Ge-TeおよびX-Sb-Te(X: 遷移金属)三元テルライドについて、引き続き、理論計算による効率的材料探索と、実際の成膜条件の確立を目指す。成膜ままアモルファス状態において、通信波長帯である1500-1600nmにおける消衰係数kが0.5以下となる組成を3種類見出す。また、その中で、熱処理結晶化後も0.5以下を維持している組成を1種類見つける。今後は実験・シミュレーション両方の観点から材料組成制御や新たな添加元素も検討する。

(ii) テラヘルツ帯における誘電特性や変調・受光デバイスへの展開

低消衰係数三元材料の100GHz-1THz周波数域における誘電特性を評価する。通信波長帯で低消衰係数を示す材料におけるテラヘルツ特性を明らかにする。ピコ秒相変化時の急峻抵抗変化を利用したテラヘルツ発生デバイスの試作を行う。

(iii) 分光エリプソメトリーを用いて、MnTeを含む二元系、三元系相変化材料の光学特性を可視から赤外領域で測定し、通信波長帯での評価を完了する。

研究開発項目2: 相変化材料を用いた省電力高密度光マトリックススイッチの研究開発

2-a) 相変化材料を装荷したシリコンフォトニクス光スイッチ製造技術

装荷に至るまでのMnTeの劣化を抑制するため、成膜直後に純粋な β 相を得る条件を探る。SOI層にヒータ機能を有するシリコン光回路を試作する。このシリコン光回路に、相変化材料を装荷する。

2-b) 相変化材料を用いたシリコンフォトニクス光スイッチの設計と評価

MnTeの相転移に伴う屈折率変化を用いた光スイッチの材料加熱構造と光学的な構造について、それぞれ、熱的及び光学的シミュレーションを行い、最適化構造を明らかにする。また、様々な形状の光スイッチを設計・試作して部分構造を評価する。製造状況に合わせて、順次集積化された構造の光スイッチの特性評価を行う。