

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654088

研究課題名(和文) 光学的フロケ状態物理学の開拓

研究課題名(英文) Investigation of photonic Floquet state

研究代表者

蓑輪 陽介 (MINOWA, Yosuke)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：50609691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：屈折率が時間的に周期変動するような物質中を光が伝搬したとき、光の性質(波長、強度)が大きく変化する可能性がある(光学的フロケ状態)。特に光場の振動周期と屈折率の変化の周期に近いほど、その変化が顕著になると期待される。

本研究では、テラヘルツ周波数領域において、このような屈折率が時間変動するような物質の実現を目指した。そのために必要な実験系を構築し、同時に様々な物質の超高速光学応答を実験的に明らかにした。特に、白金薄膜においては典型的な貴金属である金よりも速い過渡応答を観測することに成功した。この速い応答時間は電子格子相互作用の強さによって説明可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Light propagating through the medium whose refractive index is periodically modulated in time domain, termed as "photonic Floquet state", should show various interesting phenomena such as wavelength conversion and amplification. The modulation frequency close to the light frequency is desirable.

Our goal is to establish such a photonic Floquet state in the terahertz frequency regime. As a first step, we revealed the ultrafast optical response of various materials. In particular, the optical response of a platinum film is found to be faster than a gold film.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性I

キーワード：テラヘルツ 光物性

1. 研究開始当初の背景

(1) 波とは媒質中を何らかの物理量が時空間的に振動しつつ伝わっていく現象である。この波の伝搬する媒質の性質そのものが空間的あるいは時間的に周期変動している場合、周波数に依存して波の振る舞いが劇的に異なることが知られている。特に、波の振動周期と媒質の性質の変動周期が近い場合が最も興味深い(例:半導体のバンドギャップ)。これは波の干渉性の表われの1つである。性質が周期変動する媒質中での波の振る舞いは普遍的な取り扱いが可能であり、物理学において広く盛んに研究されている。

(2) 屈折率が空間的に周期的に変化している物質はフォトニック結晶と呼ばれ、すでに幅広い産業応用がなされるまでに発展してきている。フォトニック結晶では、光という波が伝搬する媒質の性質が、光の波長程度の周期で変化していることが重要である。同様に、屈折率が時間的に周期的に変化するような媒質中では、光が非常に興味深い性質を示すことが期待できる。しかし、これまでにはこのような媒質中での光の振る舞いは全く解明されていない。それだけでなく、光の振動と同程度の速さで媒質の屈折率を大きく変動させること自体が、実現困難な問題とされてきた。

2. 研究の目的

本研究では、動的に媒質の屈折率を変動させるために光励起の手法を採用する。物質の光学応答速度の限界と光励起の適用可能性の条件から、テラヘルツ周波数領域が光学的フロケ状態の実現に最適であると考えられる。そのために、強度がピコ秒程度で周期的に変動するようなビート光の発生系を構築をめざす。さらに、光学的フロケ状態を調べるためのテラヘルツ光学系を構築し、両者の統合を行う。

また、最適な物質を探索した上で、フォトニックフロケ状態を実現し、その性質を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

ビート光の発生系を構築するとともに、テラヘルツ光学系を構築し、両者を統合する。同時に光ポンプテラヘルツプローブの手法を用いて光学的フロケ状態の実現に最適な物質探索を行う。

4. 研究成果

(1) ビート光発生系の構築:

テラヘルツ周波数領域における屈折率変化を光励起によって実現する。そのために、強度が周期的に変動するようなビート光を発生させる実験系を立ちあげた。

まず、回折格子対を用いることで、チタンサファイア再生増幅器からのフェムト秒パルス光にチャープをつける系を構築した(図1)。この系では、ほぼ線形のチャープをつけ、35フェムト秒の光パルスをも10ピコ秒にまで伸ばすことが可能である。

ビート光の発生のために、上述のようなチャープ系に加えてマイケルソン干渉計を構築した。線形にチャープした同一のパルス二つを重ね合わせることでビート光を得ることが出来る(図2)。このマイケルソン干渉計を安定化させるために、干渉計のロックレーザーとしてヘリウムネオンレーザーを用いた。この安定化によって、テラヘルツ周波数領域において十分な安定性を数時間以上にわたって保つことに成功した。

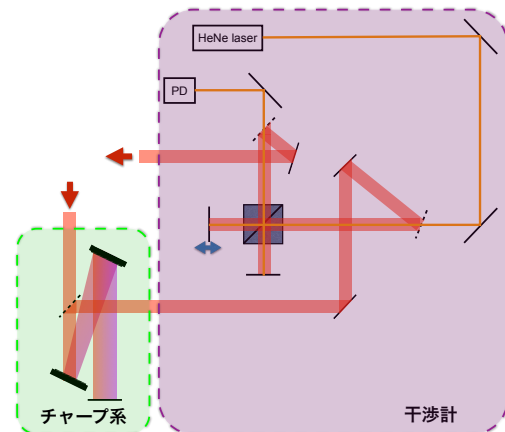


図1: ビート光を作るための実験系の模式図

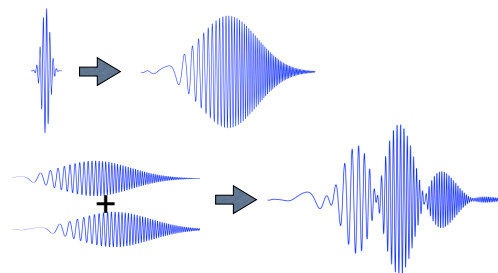


図2: フェムト秒パルスからチャープ光への変換(上)。チャープ光を2つ足し合わせることでビート光を得る(下)。

(2) ビート光発生系・テラヘルツ光系の統合：

2色励起プラズマ発生を利用して構築したテラヘルツ時間領域分光装置（図3）と、上述したチャープ系、干渉計を統合し、光学的フロケ状態を調べるために必要な実験系を完成させた。

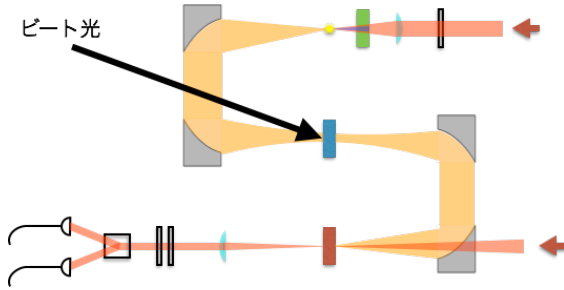


図3：2色励起プラズマを用いたテラヘルツ光発生と電気光学サンプリングによるテラヘルツ光検出を組み合わせたテラヘルツ時間領域分光装置

(3) 物質探索：

光学的フロケ状態の研究に最適な物質の探索を行った。光学的フロケ状態の実現にはまず、①光励起した際にテラヘルツ周波数領域における光学応答変化が十分あること、そして②光励起に対する応答が十分速いこと、の2点が必要である。

種々の半導体や金属の中から、白金薄膜に着目し、その過渡的な光学応答を明らかにした。

まず、図4で示されるように、白金を中心波長 800 nm のフェムト秒光パルスでポンプすることで、テラヘルツ周波数領域において透過率変化として 10%以上という大きな過渡光学応答が得られることを明らかにした。

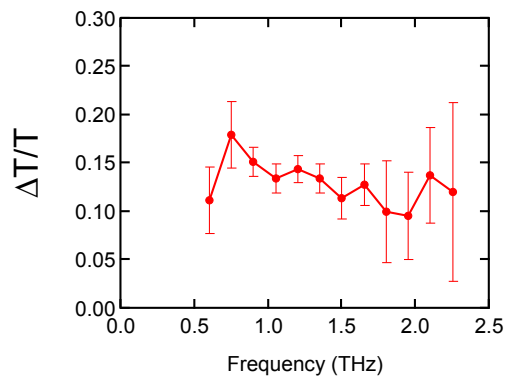


図4：光励起後 6 ピコ秒後のテラヘルツ光透過率の変化

次に、この過渡的な変化の応答時間について、典型的な単純金属である金との比較を行った。図5に金薄膜を光励起する前後でのテラヘルツ光の振幅透過率の時間変化を示す。およそ 1.6 ピコ秒の立ち上がり時間であることがわかった。

一方、白金薄膜についても同様に光励起前後での振幅透過率変化を図6に示す。立ち上がり時間はおよそ 0.4 ピコ秒と金よりも明らかに高速な応答が観察された。

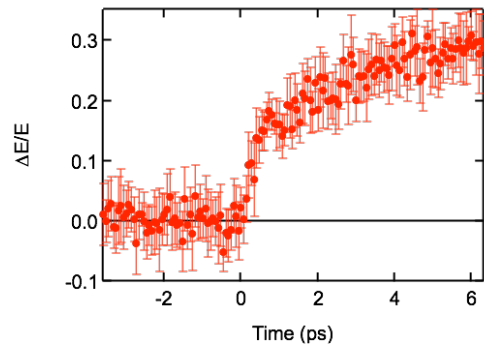


図5：金薄膜の過渡透過率変化

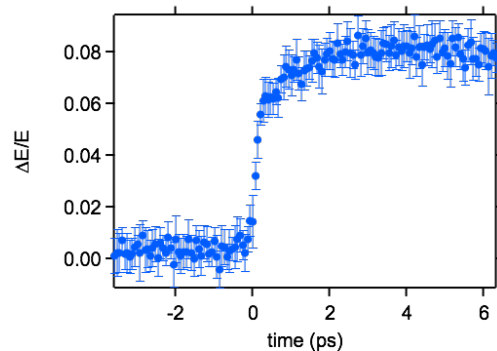


図6：白金薄膜の過渡透過率変化

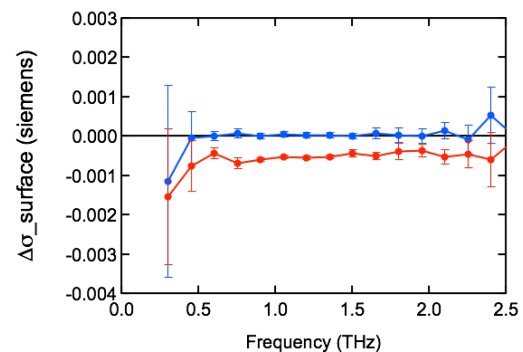


図7：白金薄膜の伝導度変化。赤が実部、青が虚部の変化を表す。

また、上記で明らかになった、白金の透過率の過渡変化について、その原因が伝導度の虚部の変化にあることを明らかにした(図7)。この白金薄膜の過渡伝導度変化は、強い電子格子相互作用に起因する、高速の格子温度上昇に対応することがわかった(図8)。これらの結果について学会発表を行った。

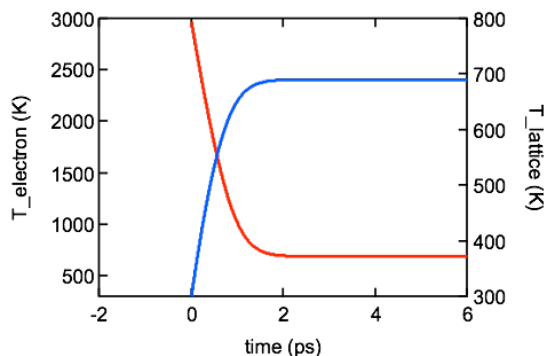


図8: 光励起後の電子温度(赤)、および格子温度(青)の推移(計算結果)。

(4) まとめと課題:

本研究期間内に、ピート光発生装置とテラヘルツ時間領域分光法装置を組み合わせた実験系を構築できたことは、本研究課題の推進にとって重要な進展であった。また、光学的フロケ状態に適切な物質探索の過程で、白金薄膜のテラヘルツ周波数領域における過渡光学応答を初めて明らかにし、そのメカニズムが、強い電子格子相互作用にあることを示した。このことは金属薄膜の超高速光学応答の起源の一端を明らかにする物であり、重要な知見を与えた。

今後は、今回もちいた白金薄膜の光フロケ状態の観測を試みるとともに、さらに緩和時間も高速であるような物質探索を行っていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

蓑輪陽介, 永井正也, 芦田昌明, 光励起による金属薄膜におけるドルーデ減衰の変化, 日本物理学会 第69回年次大会, 2014年3月27日, 東海大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蓑輪 陽介 (MINOWA Yosuke)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号: 50609691

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し