

鎖状タリウム化合物における光照射による表面形状変化

Photo-induced change in surface relief of chain thallium compound

大阪府立大学大学院工学研究科電子・数物専攻電子物理分野

梅崎美亜¹, 沈用球¹, 脇田和樹², Nazim Mamedov³,

大阪府大院工¹, 千葉工大工², アゼルバイジャン科学アカデミー

Abstract Recently, local and macroscopic photo-induced expansion has been observed in ternary thallium compounds. In this work, we attempted to reveal change of the surface relief between before and after photo irradiation. It was revealed that the photo-induced expansion ratio was growing up with increasing pumped laser power. In addition, higher pumped laser power derived more localized surface relief. It was also shown that surface relief with photo irradiation show anisotropy between parallel and normal to the chain direction of thallium compounds.

1.はじめに

光によって物質に変形が誘起される現象は、他の光利用技術と同様に、空間的・時間的制御が容易、非接触で操作可能であるなどの利点を有する。これらを活かし、光駆動アクチュエータ[1]や微細加工技術[2]など、多岐にわたる分野への応用が期待されている。

本研究グループは最近、無機材料である3元タリウム化合物において局所的で巨大な光誘起変形現象を見出した[3][4]。現在までに、この現象の原因解明および光駆動装置等への応用を目的とした、特性評価が行われてきた。しかし、評価はサンプル表面上のある1点のみで行われ、変形現象の全容は観察されなかった。そこで今回、光照射による鎖状タリウム化合物表面形状の変化の様子を2・3次元的に評価した。

2. 実験方法

サンプルとして、鎖状タリウム化合物である TlInSe_2 , TlGaTe_2 , TlSe のバルク単結晶に、半導体レーザー（波長：408nm）を、角度をつけて入射し、膨張

を誘起した。

測定系を Fig.1 に示す。サンプルの(100)面を測定面とし、測定方向を x 軸、測定方向と垂直な方向を y 軸と定義した。共焦点レーザー変位計により、x 軸上の測定ライン（最大測定範囲 $1100\mu\text{m}$ ）におけるサンプル高さ (h) を測定し、2次元的な表面形状を得た。また、測定ラインを y 軸方向に手動でシフトすることで、3次元的な表面形状評価を実現した。

3. 実験結果・考察

3-1. 表面形状の3次元的評価

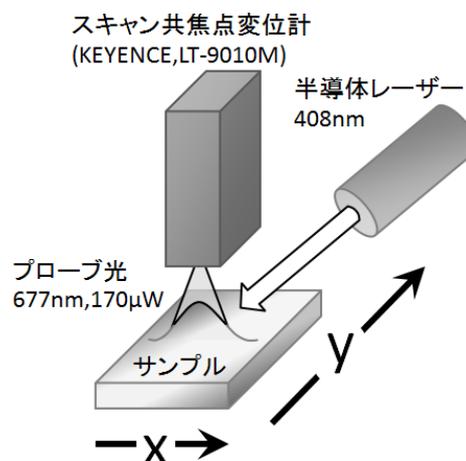


Fig.1 Measurement System

TlInSe₂ サンプルにおいて、ポンプ光照射前と、照射後十分に時間が経過した時点で、それぞれ表面形状を測定し、その差から変位量を求めた。Fig.2 に、ポンプ光照射前後のサンプル表面形状を示す。測定は、y 軸と c 軸が平行になるように行われた。また、測定ステップは、x 軸方向を 5 μm 間隔、y 軸方向を 100 μm とした。この結果から、ポンプ光照射により、サンプル表面全体が上昇していることがわかる。

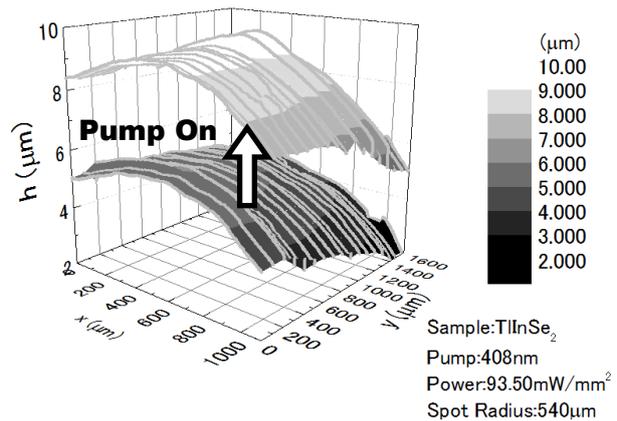


Fig.2 Surface relief of before and after photo irradiation.

次に、Fig.2 から、各点におけるポンプ光の照射前後の h の差 (Δh) を計算し、変位量の位置依存性を求めた。結果を Fig.3 に示す。この図から、膨張は測定された表面全体に生じているものの、その大きさには位置依存性が見られる。また、実験において、ポンプ光は Fig.2 の xy 平面の中心付近に照射されたことから、ポンプ光スポット中心で特に大きな膨張が生じていることがわかる。

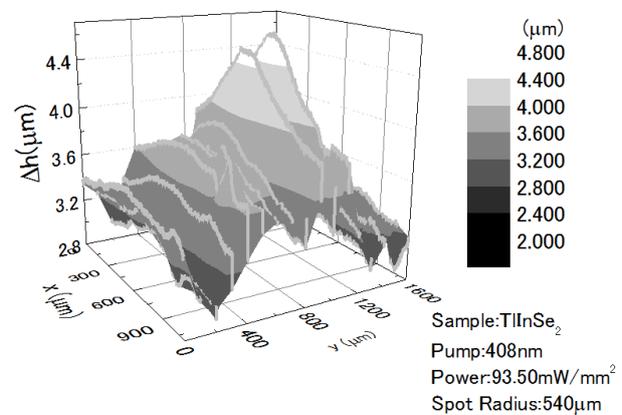


Fig.3 Three dimensional map of Δh .

3-2. 表面形状のポンプ光強度依存性

変位のポンプ光強度依存性を評価した。この実験では、y 軸上の位置をポンプ光スポット中心に固定し、2次元的な変形の形状を測定した。TlInSe₂ サンプルにおける、変形の形状のポンプ光強度依存性を Fig.4 に示す。ポンプ光強度が増すほど、 Δh はより大きく、また変形のピーク形状がよりシャープになっていることがわかる。そこで、変位量およびその局所性のポンプ光強度依存性を、各サンプルで評価した。

3-2-1. 変位頂点のポンプ光強度依存性

各サンプルにおける変形の形状測定結果において、各測定範囲における最大の Δh (Δh_{max}) のポンプ光強度依存性を

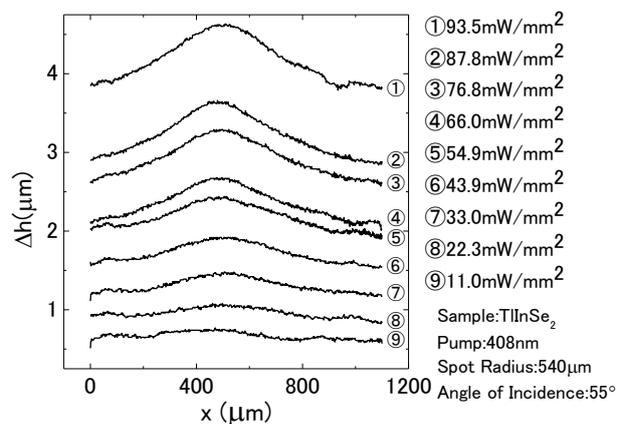


Fig.4 Pump power dependence of line profile of Δh .

評価した. また, 変形率 ($\Delta h_{\max} / h$) のポンプ光強度依存性評価も行った. 各サンプルにおける評価結果を Fig.5, 6 にそれぞれ示す. これらの結果からわかる通り, Δh は, 測定した領域では, ポンプ光強度にほぼ比例して増大していた. また, 光学顕微鏡を用いて測定した, 各サンプルの光損傷閾値を Table I に記載する. Fig.6 および Table I から, 各サンプルとも, 光損傷閾値より 2桁弱い光で 10^{-3} オーダーの変形率を示し, また, より光強度なポンプ光を用いることで, さらに大きな変位を生じる可能性があることがわかる.

3-2-2. 変位局所性のポンプ光強度依存性

Fig.4 の各測定結果における, 変位局所性のポンプ光強度依存性を評価した. 評価においては, 測定範囲内で最小の Δh (y_0) をバックグラウンドとして差し引き, ピーク形状の半値全幅 FWHM およびピーク高さ A を求めた. 各サンプルにおけるこれらピークパラメータのポンプ光強度依存性を Fig.7(a)(b)に示す. これらの結果から, ポンプ光強度が増大する程, ピークはより狭く, 高くなる傾向にある, つまり, より局所性が強くなっていることがわかる. これを利用すると, 光強度による変形の形状操作が可能であると考えられる.

3-3. 変形の異方性

鎖状タリウム化合物の結晶構造を Fig.8 に示す. c 軸方向が共有結合, c 軸に垂直な方向が, ファン・デル・ワールス力に起因した弱結合となっている. このように結晶構造には異方性があることから, 変形の形状にも異方性が現れることが予測されるため, これを調査した.

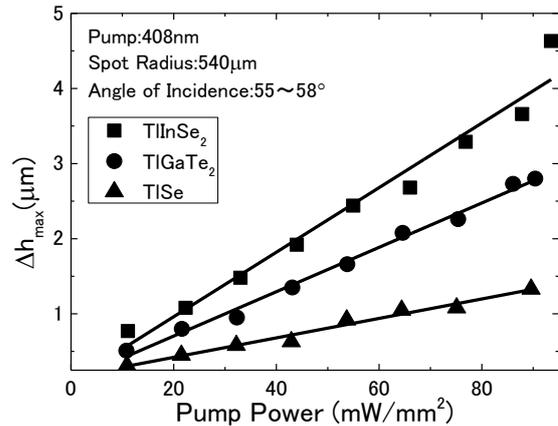


Fig.5 Pump power dependence of Δh_{\max} .

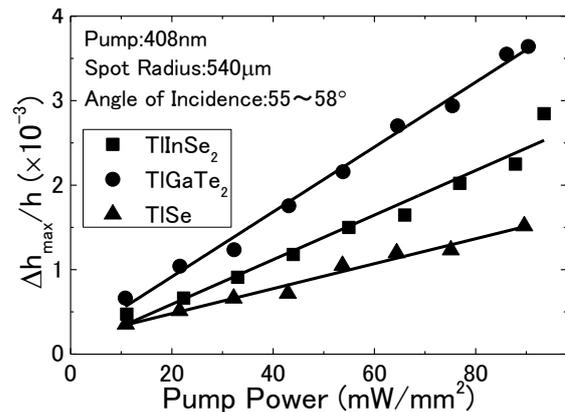


Fig.6 Pump power dependence of expansion ratio.

Table I Optical damage threshold

Sample	TlInSe ₂	TlGaTe ₂	TlSe
光損傷閾値[mW/mm ²]	2250	3756	9353

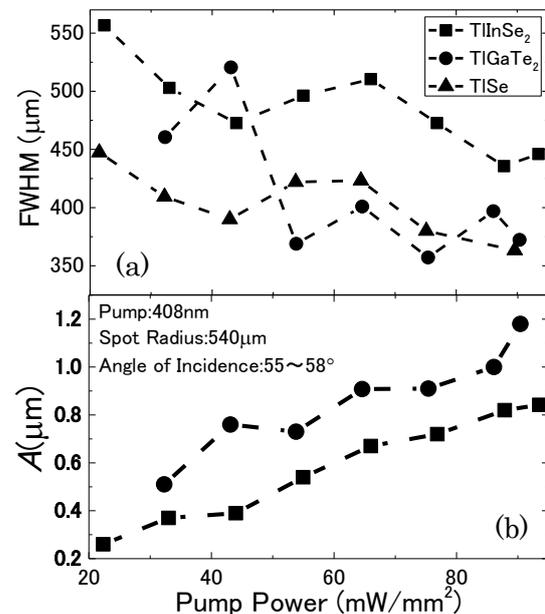


Fig.7 Pump power dependence of (a) FWHM and (b) A .

実験と解析は、次のように行った。まず、 TlInSe_2 サンプルにポンプ光を照射し、スポットの中心で、 $x \perp c$ となるように形状評価を数回行った。次に、サンプルを 90° 回転させ、強度・スポットサイズの等しいポンプ光を照射し、 $x // c$ となるように形状評価を数回行った。 $x \perp c$, $x // c$ それぞれの測定結果で Δh_{max} の値にばらつきが見られたが、比較のため Δh_{max} が一致していたものを Fig.9 に示す。また、その他の測定結果は、 Δh_{max} で規格化することで、 y_0 , A , FWHM を求め比較した。

各ピークパラメータの平均値を Table II に記載する。 $x \perp c$ 方向の形状の方が、よりピークが狭く、高くなっており、変形の形状の異方性が示された。 c 軸に垂直な方向は、弱結合方向であるため、変形の形状には結合状態が影響していると考えられる。

4. まとめ

本研究では、鎖状タリウム化合物における光照射時の表面変化の様子を観察し、その特性を評価した。

変位頂点のポンプ光強度依存性を評価した結果、光損傷閾値より 2 桁弱い光で 10^{-3} オーダーの変形率を生じ、また、より光強度なポンプ光を用いることで、さらに大きな変位を生じる可能性があること示された。

変位局所性のポンプ光強度依存性を評価した結果、ポンプ光強度の増加により変形の局所性が強くなることがわかった。

c 軸と垂直・平行方向で変形のそれぞれ表面形状評価を行った結果、変形の形状には異方性があり、結合状態が影響している可能性があることを示した。

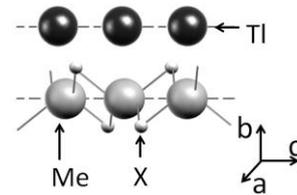


Fig.8 Crystal structure of chain thallium compound.

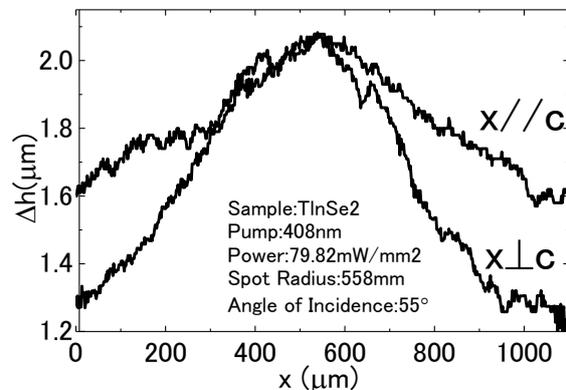


Fig.9 Anisotropy of line profile of Δh .

Table II Anisotropy of peak parameters.

測定方向	$x \perp c$	$x // c$
A(a.u.)	0.368(± 0.037)	0.245(± 0.050)
y_0 (a.u.)	0.632(± 0.037)	0.755(± 0.050)
FWHM(μm)	493.8(± 53.737)	561.3(± 135.316)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24560381 および大阪府立大学工学研究科 FI 推進研究奨励研究費の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] S. Kobatake *et al.*, Nature **446** (2007) 778.
- [2] M. L. Trunov *et al.*, Appl. Phys. Lett. **96** (2010) 111908.
- [3] N. Mamedov, K. Wakita, Y. Shim, K. Abe, N. Ogushi, Thin Solid Films, **517** (2008) 1434.
- [4] 朝日 隆志 他, 多元系機能材料研究会平成 22 年度成果報告集, p.86 (2010).