

THz-Pump/THz-Probe 分光法による半金属ビスマスの非線形キャリア応答 Nonlinear Carrier Response of Semi-Metal Bismuth Observed with THz-Pump/THz-Probe Spectroscopy

横国大院工¹, 物材機構 WPI-MANA², JST-CREST³, 奈良先端大⁴, ルクスレイ⁵

○荒木 光太郎¹, 南 康夫¹, Thang Duy Dao^{2,3,4}, 長尾 忠昭^{2,3}, 武田 淳¹, 北島 正弘^{1,3,5}, 片山 郁文¹

Yokohama National Univ.¹, WPI-MANA, NIMS², JST-CREST³, NAIST⁴, LxRay Co. Ltd.⁵

○K. Araki¹, Y. Minami¹, T. D. Dao^{2,3,4}, T. Nagao^{2,3}, J. Takeda¹, M. Kitajima^{1,3,5}, I. Katayama¹

E-mail: minamiyasuo@ynu.ac.jp, jun@ynu.ac.jp, katayama@ynu.ac.jp

典型的な半金属であるビスマス (Bi) は、すべての金属の中で電気抵抗やホール係数が最も高いなど興味深い性質を数多く持っている。また、膜厚 30 nm を境に半金属 - 半導体転移が起こるといった報告[1]がなされるなど、Bi 超薄膜の光学特性に注目が集まっている。最近、我々は広帯域、高強度のテラヘルツ時間領域分光法を用いることで、Bi 超薄膜の表面金属状態の光学応答[2]や、バルク Bi の THz 非線形キャリア応答をはじめて明らかにした[3]。今後、Bi の物理的性質を総合的に理解するために、キャリアの生成や緩和過程を明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、THz-Pump / THz-Probe 分光法により Bi 内のキャリアダイナミクスを、電場強度を変化させながら測定した。試料には厚さ 1 mm の Si (111) 7×7 表面再構成基板上に超高真空中 ($\sim 10^{-10}$ torr) で蒸着した厚さ 40 nm の Bi 薄膜を用いた。また、光源には中心波長: 800 nm、パルス幅: 130 fs、繰り返し周波数: 1 kHz、エネルギー: 1.9 mJ/pulse の Ti:Sapphire 再生増幅レーザーを使用し、パルス面傾斜法を用いて LiNbO₃ (LN) からポンプ用、プローブ用の THz 波を同軸上に発生させた。ポンプ THz 波の最大電場強度は ~ 300 kV/cm であった。またワイヤグリッド偏光子をサンプルの前後に置き、THz 波の強度の調整に使用した。

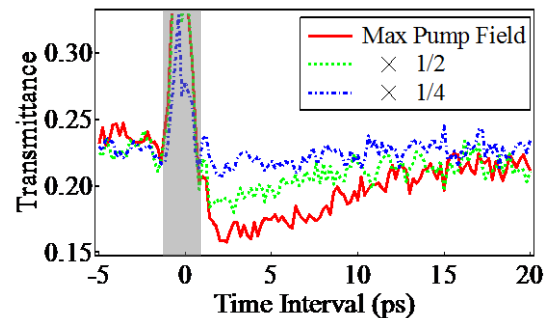


Fig 1 Transient transmittance change of THz pulses at different THz-pump intensities. The transmittance change in shaded area is strongly modified due to a nonlinear interaction induced by a set of two optical pulses; they were used for THz generations at LN crystal.

図1に各電場強度におけるプローブTHz波の透過率の時間変化を示す。網掛部分の透過率の急激な増大は、LN結晶内での光パルスの非線形相互作用とキャリアの有効質量増大に起因するものである[3]。ポンプTHz波照射後、2 ps程度で透過率は減少し、その後10 ps程度で緩和している。また、電場強度が増大すると、吸収量も増大することがわかる。また、フィッティングにより緩和時間はおよそ7 psという結果が得られた。これらの結果は、Biの特異なバンド構造に起因する、有効質量やキャリア密度の非線形な変化によるものと我々は考えている。解析結果とその物理的解釈については当日報告する。

[1] C. A. Hoffman *et al.*, Phys. Rev. B, **48**, 11431 (1993).

[2] K. Yokota *et al.*, Appl. Phys. Lett, **100**, 251605 (2012).

[3] 荒木他、第74回応用物理学会秋季学術講演会、

同志社大学、p. 04-216 (2013).