

テラヘルツパルス光波形整形装置の開発

(原子力機構) 坪内 雅明, 熊田 高之

Pulse shaping for terahertz laser pulses

(JAEA) Masaaki Tsubouchi, Takayuki Kumada

【序】近年のテラヘルツ (THz) 光発生技術の急速な進展により、これまで分子を「観測」するための分光手段として用いられてきた THz 光は、分子を「制御」する方法としてもその可能性を拡げつつある。複雑な分子制御を実現するためには、精密に波形整形された THz 光が必要となるが、可視～中赤外領域で進展した波形整形技術を THz 領域に流用することができず、その基盤技術開発が待たれている。そこで本研究では、その第一歩として **THz 周波数帯で動作する光シャッター付きエタロン素子の開発**を行った。エタロンにより生成される等間隔パルス列は、光周波数コム等の分光的用途、分子回転状態のハシゴ状励起などのダイナミクスの制御等、分子科学的に幅広い応用が考えられる。さらに光シャッター付きエタロン素子の開発で用いた基礎原理は、任意波形整形器の開発へ応用展開する事が可能であり、その検討及び基礎試験を行った。

【装置の概略】通常の「エタロン」素子は高反射率ミラーペアで構成された干渉計であり、短パルスレーザー光を照射した場合、そのミラーペアから漏れ出す光により等間隔パルス列が生成される。しかしこの場合、入射光の大部分が入口の高反射率ミラーで反射されるためパルス列への変換効率は非常に低く、分子制御を行うために必要な大強度パルス列の生成には不向きであった。

本研究では、高い変換効率を実現するため以下に示す「光スイッチ」を備えたエタロン素子を開発した。図 1 にその概念図を示す。本素子はシリコン (Si) 薄板と THz 光高反射薄膜 (ITO: 酸化インジウムスズ、厚さ 150 nm、抵抗率 15 Ω / \square) を塗布したガラス板から成る。THz 光はまず Si を透過し、ITO 膜で反射される (図(a))。再び THz 光が Si に到達する前に、逆方向から紫外光 (波長 400 nm) を照射すると、Si 表面に高密度キャリア膜が生成され、その膜により THz 光は強くプラズマ反射される (図(b)) [1]。エタロン内を何度も THz 光が往復する途中で ITO 膜から漏れ出す THz 光は、図(c)に示される等間隔パルス列を成す。この様に、紫外光照射による光スイッチを用いて、高い変換効率で THz 光のパルス列化を実現した。

【実験】フェムト秒レーザーパルス光 (波長 800 nm、パルスエネルギー 2 mJ、パルス幅 45 fs) を 3 つに分枝し、THz 光発生用の励起光、光シャッター光、THz 光検出光として使用した。THz 光は、波面傾斜させた励起光をプリズム型 Mg-LiNbO₃ 結晶に照射し光整流過程により発生させた [2]。光シャッター光は厚さ 2 mm の β -BBO 結晶により発生させた倍波 (波長 400 nm) を使用した。パルス列化した THz 光は ZnTe 結晶に集光され、同軸で照

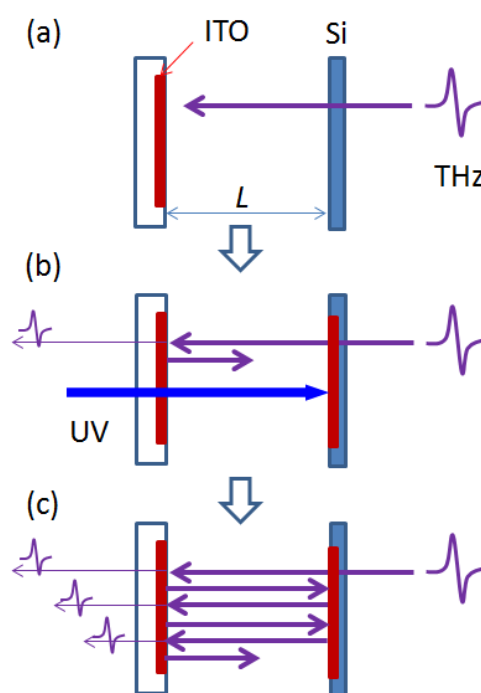


図 1 : 光シャッター付き THz 光用エタロンの概念図

射された微弱 800 nm 光に対する電気光学効果により検出された[3]。

【結果と考察】図 2(a)に、キャビティー長 $L=0.5 \sim 2.0$ mm のエタロンを用いて生成した THz 光パルス列の観測結果を示す。紫外光照射が無い場合、Si 表面のフレネル反射 (30%) により、短いパルス列 (パルス 4 個程度) が生成された。一方、紫外光スイッチによりエタロン内に THz 光を閉じ込めた場合、パルス列は劇的に伸び、そのパルス列波形をフーリエ変換して得たスペクトルは図 2(b)に示す様に鋭いクシ状となった。この結果は、本デバイスが光スイッチ付きエタロンとして機能している事を示している。

本エタロンを詳細に評価すると、 $L=2.0$ mm のエタロンの場合、周波数間隔 75 GHz、各ピーク幅 8.3 GHz の周波数コムが生成されており、これはフィネス 9.0 のキャビティーに対応する。パルス列の形状から見積もった ITO 膜と Si 表面上の光誘起キャリア膜の反射率はそれぞれ 0.88、0.78 であった。ITO に変わる光反射薄膜の種類、キャリア膜を生成する半導体、シャッター光波長や強度等のさらなる最適化により反射率をさらに上げる事ができれば、さらにフィネスを高めることが可能となる。

また、半導体を光誘起した際に発生するキャリアと THz 光との相互作用は、エタロン素子だけでなく他にも波形整形素子の基礎原理として用いる事が可能である[4]。講演当日は、波形整形法としての光誘起キャリアの応用についての考察とその基礎試験の結果についても報告する。

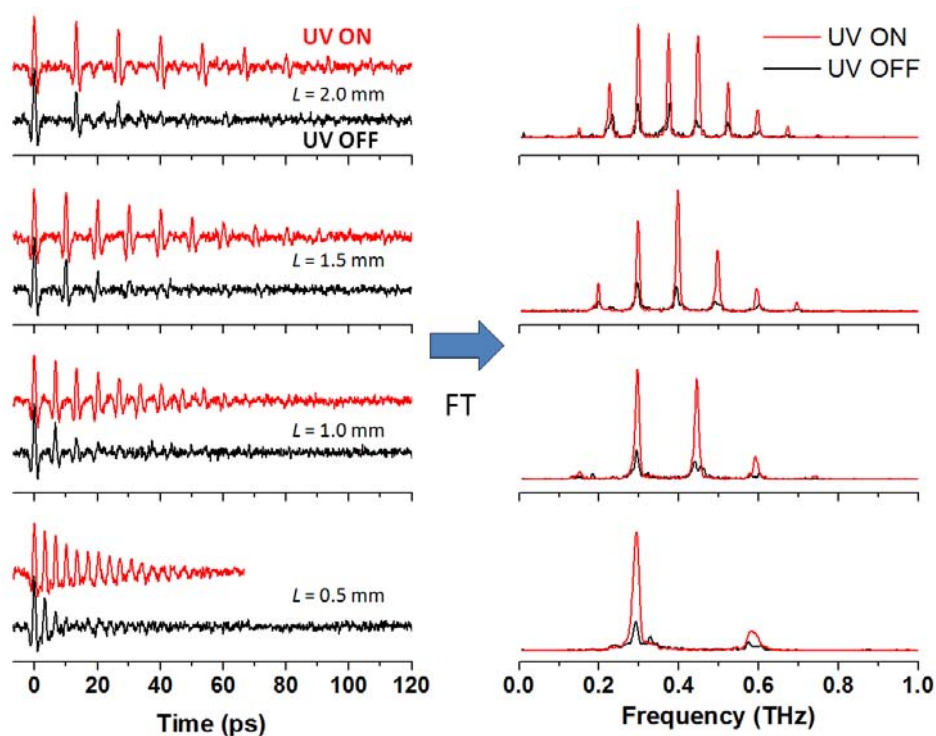


図 2. (a)テラヘルツパルス列の電場波形。赤と黒の実線はそれぞれ光シャッター有り、無しで観測された波形。(b) THz 波形のフーリエ変換により得られた櫛形スペクトル。

【参考文献】 [1] M. Tsubouchi, M. Nagai, and Y. Ohshima, Opt. Lett. Accepted. [2] J. Hebling, G. Almasi, I. Z. Kozma, and J. Kuhl, Opt. Express 10, 1161-1166 (2002). [3] A. Nahata, A. S. Weling, and T. F. Heinz, Appl. Phys. Lett. 69, 2321 (1996), Q. Wu and X. C. Zhang, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2, 693 (1996). [4] D. G. Cooke and P. U. Jepsen, Appl. Phys. Lett. 94, 241118 (2009), T. Okada and K. Tanaka, Sci. Rep. 1, 121 (2011)