

レーザーエネルギー標準の開発

パルスレーザー測定用エネルギーメータやジュールメータの絶対感度校正

近年、産業界ではパルスレーザーの用途の広がりとともに、そのエネルギー標準の確立が強く期待されている。我々のグループでは、BiTe 半導体熱電素子を用いた高感度カロリメータと、光分岐による同時エネルギー測定手法を用いた感度校正システムを開発した。これらにより、早期に産業界へエネルギー標準の供給を開始することを目指している。

In order to establish a national standard of laser energy for single laser pulses, we have developed a calibration system for laser energy meters used in industry. A reference calorimeter for measuring the absolute laser energy is composed of Bismuth Telluride semiconductor-based thermocouples and a high absorption optical cavity. To calibrate the sensitivity of devices under the test, we have adopted a simultaneous measurement method by splitting an optical laser pulse into two branches. Based on this measurement system, we will soon supply the energy standard.

広がるレーザーの利用法

今日、使用されるレーザーの波長は200 nm以下の紫外域から10 μm以上の赤外域まで広範囲に広がっており、その形態も連続光やパルス光などさまざまである。また、産業界におけるレーザーの利用は、加工や通信・情報、ラマン分光、医療など多岐にわたり、その用途に応じた波長や出力のレーザーが使用されている。特に近年では、Nd:YAGパルスレーザーによるマーキングや物質の吸収にとって有利な二倍波や三倍波の利用、エキシマなどで代表される短波長レーザーによるリソグラフィ、青色半導体レーザーダイオードの台頭、2 μmあるいは3 μm波長域の医療用レーザーメスなど、いずれもパルスレーザーに基づく

応用が急速に拡大している。そのため、パルスレーザーから出力される光のエネルギーを正しく評価できることが求められており、その測定器であるエネルギーメータやジュールメータのトレーサビリティが極めて重要となっている。

産総研のレーザー標準

産総研では、連続光を対象としたレーザーパワーの標準についてはArレーザーの488 nmから半導体レーザーの1.55 μmの波長域において50 μW~200 mWのパワー標準が確立され、産業界へJCSS校正サービスが提供されている¹⁾。さらに、供給できるパワーの高出力化への取り組み²⁾、ならびにファイバー

福田 大治 Daiji Fukuda
d.fukuda@aist.go.jp

計測標準研究部門 電磁波計測科
レーザー標準研究室 研究員

空間系のレーザーパワーやエネルギーの標準開発・供給・維持に関する業務に従事。また、超伝導デバイスを用いた高精度シングルフォトン計測の研究開発にも、計測フロンティア部門や東京大学などと共同で携わっている。ナノフォトニクスやナノエレクトロニクスなどの分野では、このようなシングルフォトンに関する高精度の計測技術が要求されているため、将来はこのような分野の期待に応えられるような新しい標準分野の開拓へ進んでいきたいと考えている。

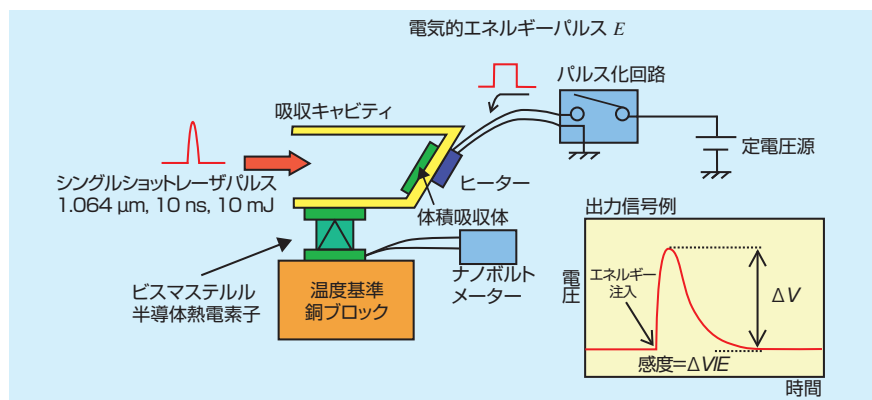


図1 カロリメータによるレーザーエネルギー絶対量の評価システム

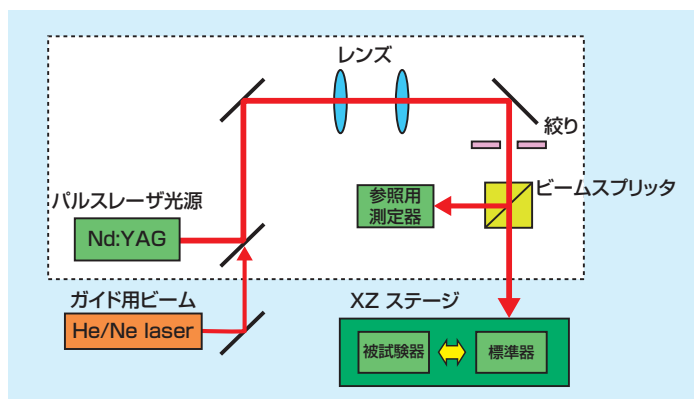


図2 レーザエネルギー感度校正システム

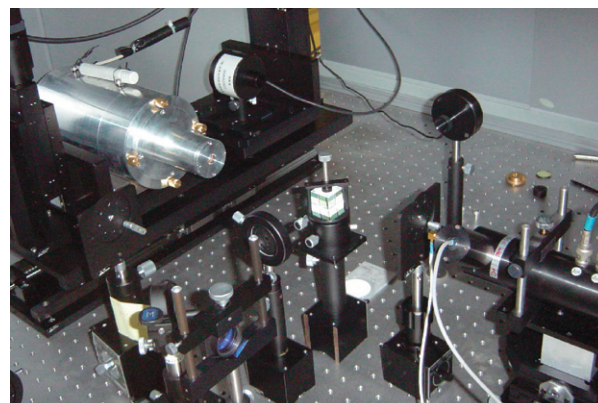


図3 一次標準器と校正システム

左側の筒状の装置が開発した一次標準器で、中央の無偏光ビームスプリッタを中心に参照用測定器と直角方向に配置されている。

系の減衰量標準の標準供給³⁾も行われている。これらに加えて、本研究ではパルスレーザーに関する代表的な特性値であるシングルパルスのエネルギーや繰り返し平均パワーといった標準の開発を目指している。このエネルギー標準によって供給される測定器の絶対感度は、測光放射測定諮問委員会（CCPR）においても、単位の国際的な同等性を担保するための重要な基本量として位置づけられており、今後実施される国際比較に対応するためにもその標準の確立が急務となっている。

エネルギーの絶対量の計測技術

標準供給を行うためには、エネルギーの絶対量を高精度に計測する一次標準器と、そこから標準値を供給するための校正技術の二つが必要である。開発したカロリメトリック方式による一次標準器の概念図を図1に示す。パルスレーザーはカロリメータ内部でキャビティ型の吸収体に入射し、光エネルギーはここで熱に変換される。熱容量を小さくして検出感度を向上させるため、吸収体は厚さ0.2 mmの無酸素銅製の薄板で形成されている。またQ-switchのようなパルス幅の短いレーザー光にも対応できるように、底部には損傷閾値の高いガラスを体積吸収体として配置してい

る。レーザー光の入射によって生じた吸収体の温度変化は、温度基準ブロックと吸収体との間に置いたBiTe半導体熱電素子で電圧信号として読み出される。一方、単位エネルギー入力に対する応答電圧、すなわち吸収体のエネルギー感度は、光の代わりに電氣的なエネルギーを入力することにより求めた出力から決定される。基準となる電圧を高速にスイッチングして発生させた矩形電圧パルスを与え、既知のエネルギーを吸収体に印加する。その時の応答電圧変化から感度が求められる。電氣的に決定されるエネルギーは国際単位系(SI)トレーサブルであり、よって光のエネルギーは吸収体で熱を介してSIへと結び付けられることになる。

レーザーエネルギー感度校正システム

エネルギーメータやジュールメータに対して標準値を供給するための校正技術として、レーザー発振器、ビームスプリッタ、そして参照用測定器からなるレーザーエネルギー感度校正システム

を構築した（図2）。上述した一次標準器（STD）を用いて、ビームスプリッタ（BS）の分岐比と参照用測定器（MON）の感度を決定する。これにより、レーザー発振器のショットごとのばらつきに左右されずに、絶対エネルギーを評価できる標準光学系を実現でき、被校正器(DUT)に入射するエネルギー値を0.1%以下の良好な測定ばらつきで決定できる。図3には、これらシステムの全体写真を示す。

本標準によって校正される測定器の絶対感度を英国国立物理研究所（NPL）と比較したところ、両者の結果は不確かさの範囲内で一致し、今回開発したシステムの妥当性を確認することができた。平成17年度中に、Nd:YAG 1.064 μm波長、パルス幅10 ns、エネルギー10 mJのシングルパルスレーザーを対象に依頼試験として標準供給を開始する予定である。さらに今後、産業界のニーズに合わせながら、校正できる波長範囲やエネルギー範囲の拡大を目指していく予定である。

関連情報：

- ¹⁾ M. Endo : AIST Today Vol. 4, No. 9, p. 27 (2004) .
- ²⁾ M. Endo : AIST Today Vol. 4, No. 1, p. 17 (2004) .
- ³⁾ S. Mukai : AIST Today Vol. 4, No. 8, p. 16 (2004) .
- 共同研究者：雨宮邦招、木村眞次、上村明日香、遠藤道幸（計測標準研究部門）.