

分光計測用狭帯域高感度光検知器 SLIPの開発

Developments of Narrow Bandwidth Sensitive Photo-Detector SLIP
for Spectroscopic Use

岡田 龍雄, 内海 通弘, 前田 三男
Tatsuo Okada, Michihiro Uchiumi, Mitsuo Maeda
九州大学工学部
Faculty of Engineering, Kyushu University

SYNOPSIS: A selective laser ionization photo-detector (SLIP) is proposed and demonstrated. SLIP uses an selective laser ionization of gases as a photo-sensitive process, instead of the photoelectric effect from solids used in photo-multipliers. The gas resonantly absorbs a signal radiation, and then is selectively photo-ionized by an intense laser beam. As the results, it can be expected that SLIP provides a high quantum efficiency in a limited detection bandwidth. An analysis and an initial stage experiment on SLIP are described.

1. はじめに

レーザー共鳴イオン化法(RIS)は、非常に高感度な原子・分子の検出法として知られており、理想的な条件下では単一原子の検出も可能である。RISの原理を用いれば、原子・分子の代わりに、単一光子の検出も期待できる。すなわち、信号光の吸収により励起された原子を、レーザー光により選択的に光イオン化し、発生した電子・イオン対を電気的に検出して、信号光の検出を行なう。我々は、レーザーによる選択的イオン化を利用したこの光検知器をSLIP(Selective Laser Ionization Photo-detector)と名付けた。SLIPは、光電子増倍管の光電面の代わりに、原子気体を光検出素子として用いたものと考えられる。SLIPは、その動作原理から高い検出感度とともに、非常に狭い検出バンド幅を実現できるので、強い背景光下での測定に有用と思われる。ここでは、SLIPの動作特性の解析と、初期的な検証実験の結果について報告する。

2. SLIPの原理と特長

SLIPの動作原理をNaD₂線に共鳴した信号光の検出を例に取って説明する。Fig.1にNa原子のエネルギー準位の一部を示す。信号光は、Na蒸気中で吸収され、これによりNa原子は3P状態に励起される。さらに、3P状態に励起されたNa原子は、強力なレーザー光により選択的にイオン化される。発生した電子・イオン対を2次電子増倍管により電気的に検出することにより、信号光の検出が可能である。選択的イオン化を利用したSLIPでは、以下のような優れた動作特性を期待できる。①光子検出効率を原理的には100%にできる。②原子の共鳴線幅内のみに感度を持つ狭帯域検出器であり、加えて受光立体角も広い。③イオン化用レーザーにパルスレーザーを用いると、ゲート動作が可能である。④適当なエネルギー準位の選択により、不連続的ではあるが

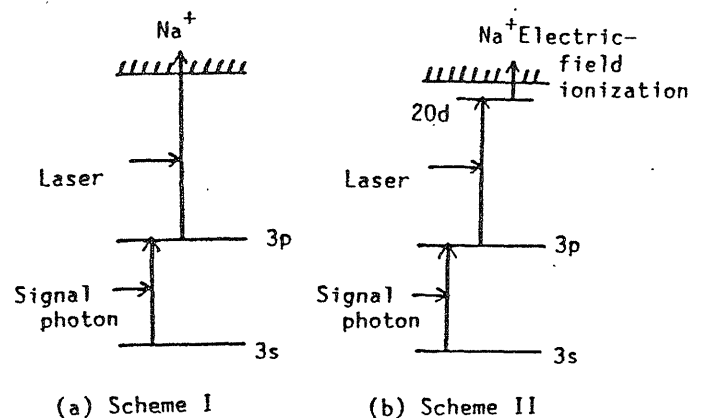


Fig.1 Level diagram of Na and RIS scheme

XUV域からIR域の広い範囲で適用できる。これらの特長を持つSLIPは、強い背景光下での分光計測や、狭帯域フィルターの無いXUV域での分光計測などで有用と思われる。

3. 動作特性の評価

まず、信号光の吸収効率を評価すると、 NaD_2 線に共鳴した単色光を90%以上吸収するのに必要なNaの線密度は $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ となる。吸収長を1cmとすれば必要な密度は $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ であり、容易に発生できる密度である。次に、イオン化に必要なレーザーパワーを見積るため、レート方程式による解析を行なった。イオン化法として、Fig.1(a)に示す直接イオン化法と、Fig.1(b)に示す電界イオン化法について解析を行なった。それぞれの結果をFig.2(a)と(b)に示す。図には、イオン化効率と、イオン化レーザー光により基底状態から直接多光子過程により発生するイオン数が示してある。後者は、SLIPの主要な雑音源と考えられる。直接イオン化法では、90%の

イオン化効率を得るに必要なレーザーパワーは、(a):direct ionization; (b)field ionization. 200 MW/cm^2 程度となる。この程度のパワーは、パルスレーザー光の集光により容易に得られるが、この時2光子イオン化により多量の雑音イオンが発生することが分かる。一方、電界イオン化によるFig.2(b)の場合、イオン化に必要なレーザーパワーは 250 kW/cm^2 程度に低減され、この時多光子イオン化による雑音イオンの発生も無視できて、フォトンカウンティングレベルの検出感度を期待できることが分かる。

4. 実験結果

解析結果を検討するため直接イオン化の場合について簡単な検証実験を行なった。実験では、オープンにより発生したNa原子ビームをターゲットとして用いた。信号光には、 NaD_2 線に同調した色素レーザー光を減衰して用い、イオン化用レーザー光には色素レーザーの励起に用いたXeClレーザー光の一部を用いた。結果を、Fig.3に示す。検出下限は、 10 pJ であった。実験に用いたNa原子の密度やレーザーのスペクトル幅を考慮すると、レート方程式による解析とほぼ一致した結果が得られた。検出下限が、2光子イオン化による雑音イオンの発生によることも確認された。現在、検出感度の向上を目指して、電界イオン化による実験を行なっている。

5. まとめ

レーザー光による気体原子の選択的イオン化を利用した新しい光検知器SLIPの提案と、原理検証実験を行なった。SLIPの高い検出感度と狭い受光バンド幅は、強い背景光下での分光計測や狭帯域フィルターの得難いXUV域での分光計測などで有用と思われる。参考文献：T.Okada,

H.Andou, Y.Moriyama, M.Maeda; Opt.Lett.(in press).

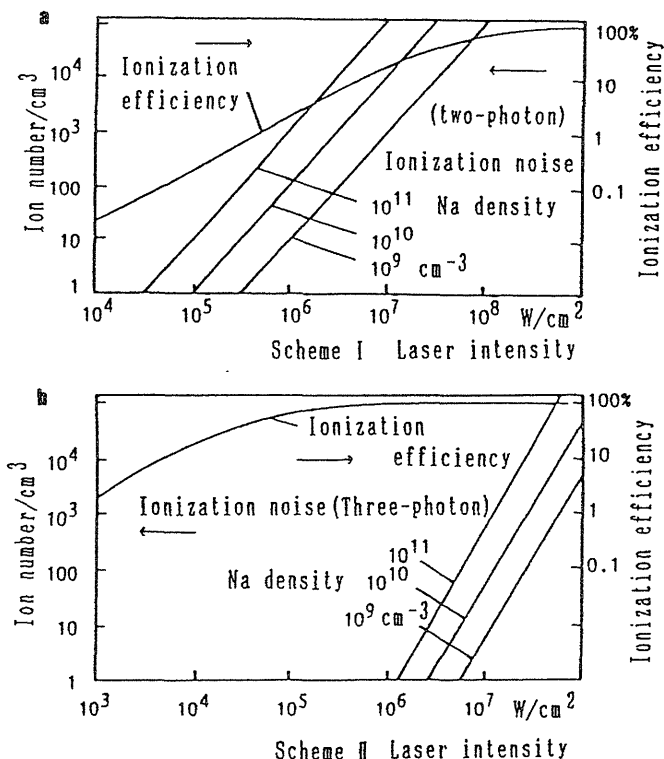


Fig.2 Calculated ionization efficiency.

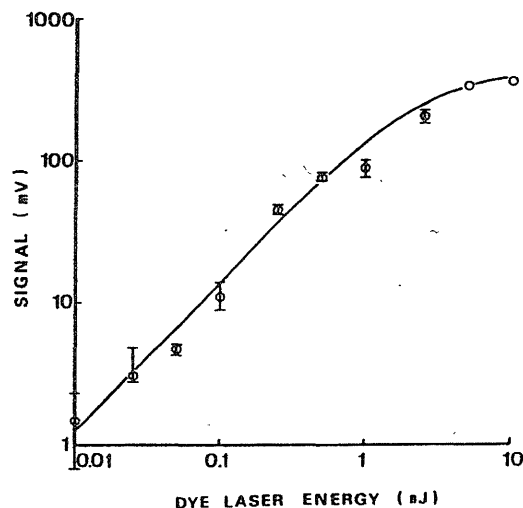


Fig.3 SLIP signal vs photo-input.