

グースヘンシェンと角度シフト測定による パラジウム表面上共鳴格子型水素センサの高感度化の検討

A study of sensitivity improvement by measuring Goos-Hänchen and angular shifts of
the hydrogen sensor using the guided-mode resonant grating on a palladium surface

阪府大工, °水谷 彰夫, 上田 景太, 菊田 久雄

Osaka Prefecture Univ. °Akio Mizutani, Keita Ueda, Hisao Kikuta

E-mail: mizutani@me.osakafu-u.ac.jp

次世代エネルギーとして注目されている水素を安全に扱うためには、防爆の危険性がない光学式のセンサが求められている。我々は、パラジウム表面上共鳴格子型水素センサを作製してきた[1]。He-Ne レーザーを TE 偏光で入射すると、特定の入射角で反射光が低下する共鳴現象が生じ、水素濃度を 0% から 4% に変化させた時、パラジウムの屈折率が変化し、共鳴角度は 0.08° シフトし、水素濃度分解能 0.13% が得られた。高感度測定のためには、共鳴付近で生じる急激な位相差の変化を測定する必要があるが、複雑な光学系が必要となる。そこで、位相シフトによって生じる反射光のグースヘンシェンシフト（以下、GH シフト）を測定することで、位相差測定の代替法となることが提案、実証されている[2]。数値計算によると、水素濃度 1% 変化に対して $8.0\mu\text{m}$ の大きなシフト量となった。PSD（位置センサ）の位置分解能を 20nm とすると水素濃度分解能は 0.0025% となり、直接測定と同オーダーの分解能で簡易な光学系で計測できる可能性を示せた[3]。一方、全反射でない場合は、わずかな角度シフトが生じることが報告されている[4]。これは、入射角に対する反射率の違いによって、ビームプロファイルの重心位置がずれることで生じる。本研究では、この角度シフトについて計算し、トータルの位置ズレがどれだけ増幅されるか調べた。

図 1(a)に、パラジウム表面上共鳴格子の設計モデルと GH と角度シフトのイメージを示す。 θ は入射角である。共鳴時の TE 偏光は格子によって左下方向へ回折され、導波層となる格子層を伝搬するため、通常の全反射とは反対の $-x$ 方向へシフトする。また、角度シフト後の反射角 θ' は

$$\theta' = \tan^{-1} \left[\frac{\iint d^2 \mathbf{k}_{\parallel} E_R^*(k_x, k_y) \cdot \frac{k_x}{k_z} E_R(k_x, k_y)}{\iint d^2 \mathbf{k}_{\parallel} E_R^*(k_x, k_y) \cdot E_R(k_x, k_y)} \right] \quad (1)$$

と表せる[4]。ここで、 k は波数、 E_R は電場の複素反射振幅、 E_R^* はその共役値であり、RCWA で求める。 $\mathbf{k}_{\parallel}$ で積分、つまり入射ビーム径に対応した発散角（半角） θ_{div} をもつ $\theta \pm \theta_{div}$ の範囲の入射角に対する反射振幅を積算して、 θ' が求まり、 $\theta' - \theta$ で角度シフトが求まる。ビーム径 $250\mu\text{m}$ のときの水素濃度 0%, 2%, 4% の場合の TM と TE の角度シフトの差を図 1(b) に示す。共鳴角度前後で角度シフトの正負が反転し、数百 μrad 程度のズレがある。図 1(c) に、格子から 50cm 離れた位置での GH と角度シフトを合わせたビームズレ $\Delta x'$ と GH シフトのみの Δx を示す。入射角 42.93° のときの感度は $8.0\mu\text{m}/\%$ から $21.0\mu\text{m}/\%$ へ大きく増加した。特に、共鳴角より小さい角度で増加している。

本研究は JSPS 科研費 15K04638 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 船引勇佑他：OPJ 2013 12pP15 [2] X. Yin, et al., Appl. Phys. Lett., 89, 261108 (2006).
[3] 水谷彰夫他：, 応物, 21p-P15-20 (2016) [4] V. J. Yallapragada, et al., Sci. Rep. 6, 19319 (2016).

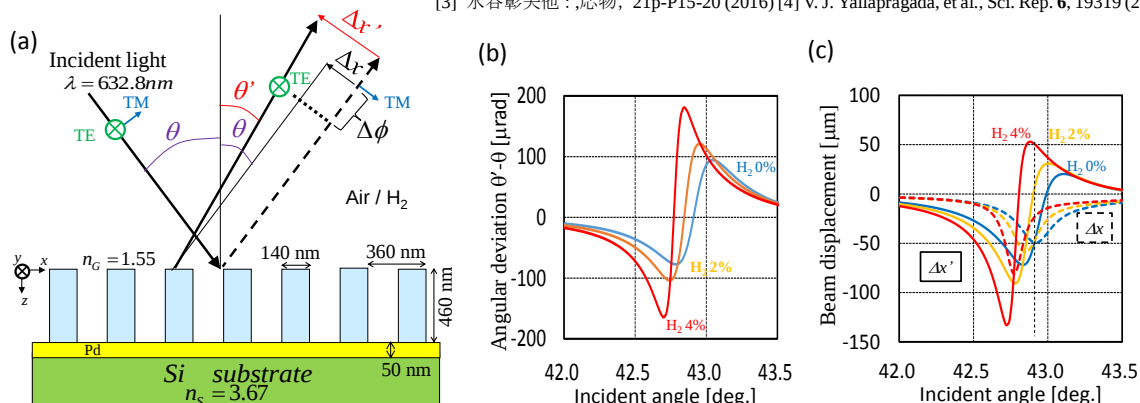


Fig. 1 A hydrogen guided-mode resonance sensor. (a) Schematic model. (b) Calculated angular shift with respect to incident angle in 0%, 2% and 4% H_2 , respectively. (c) Calculated beam displacement with respect to incident angle. Solid curves indicate the net beam displacements at propagation distance 50 cm along the reflected beam path. Dotted curves indicate only the GH shifts.