

光スピンホール効果の弱測定による 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 on weak measurement of the photonic spin Hall effect on a guided-mode resonant grating for an optical hydrogen sensor

阪府大工, °水谷 彰夫, 菊田 久雄

Osaka Prefecture Univ. °Akio Mizutani, Hisao Kikuta

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

クリーンエネルギーとして水素を安全に扱うためには、爆発の危険性のない光学式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[1,2]。He-Ne レーザーを S 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° シフトした。角度分解能から水素濃度分解能を見積もると 0.13% であった。より高感度な測定のためには、共鳴付近で生じる反射光の急激な位相差の変化を測定する方法があるが、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）を計算した。水素濃度 1% 変化に対して $8\mu\text{m}$ のシフト量が得られ、さらに角度シフトも利用することで、 $21\mu\text{m}/\%$ まで感度が向上することを計算で確かめた[3]。

一方、反射の際に光線が入射面に対して垂直方向にシフトする光スピンホール効果（以下 SHE）が注目されている[4]。そこで、本研究において、共鳴格子で生じる SHE を測定することを提案し、感度の向上が可能かどうか数値計算で検討する。図 1 のような系を考えると、SHE は直線偏光を入射すると左右円偏光がそれぞれ逆方向にシフトして反射する現象であり、このシフト量は偏光状態の変化に依存するので、共鳴付近で大きなシフトが得られることが期待できる。ただし、SHE のシフト量はビーム幅に比べて微小なため、微小

量を拡大する弱測定という手法を用いて、どの程度シフトが増幅されるか計算で調べた。

図 1 に、パラジウム表面上共鳴格子の設計モデルと SHE 測定の模式図を示す。S 偏光で入射した光は、反射の際に左右円偏光として、同じ大きさでそれぞれ逆方向に δ_R , δ_L だけシフトする。このシフト量をレンズ 2 でコリメートして、カメラや位置センサで測定する。弱測定のために方位角 $90^\circ \pm \varepsilon$ の偏光板 2 をレンズ 2 とセンサの間に配置する。 ε を微小角、つまり入射側と反射側の偏光板をほぼ直交させることで、ビームのシフト量は増大する。増大されたシフト量 Δ は

$$\Delta = \frac{i \iint d^2 \mathbf{k}_{\parallel} E_R^*(k_x, k_y) \cdot \frac{\partial}{\partial k_y} E_R(k_x, k_y)}{\iint d^2 \mathbf{k}_{\parallel} E_R^*(k_x, k_y) \cdot E_R(k_x, k_y)} \quad (1)$$

と表せる[4]。ここで、 k は波数、 E_R はセンサ面で反射後の偏光板 2 を透過したあとの電場の複素振幅、 E_R^* はその共役値である。 E_R は RCWA で求めた。(1) 式は $\mathbf{k}_{\parallel}$ で積分となっているが、SHE は y 方向のシフトなので k_y で積分してシフト量を求めた。ビーム径 $500\mu\text{m}$ 、 $\varepsilon = 0.3^\circ$ のときの水素濃度 0%, 2%, 4% の場合のシフト量 Δ を図 2 に示す。数百 μm 程度のシフトが生じている。入射角 42.87° のときの感度平均は $58\mu\text{m}/\%$ であった。これは GH シフトの 2 倍以上であった。

参考文献

- [1] 船引他：OPJ 2013 12pP15 [2] 水谷他：応物，16a-418-4 (2017)
[3] 水谷他：応物，7a-PA5-22 (2017) [4] X. Zhou, et al., Sci. Rep. 8, 1221 (2018).

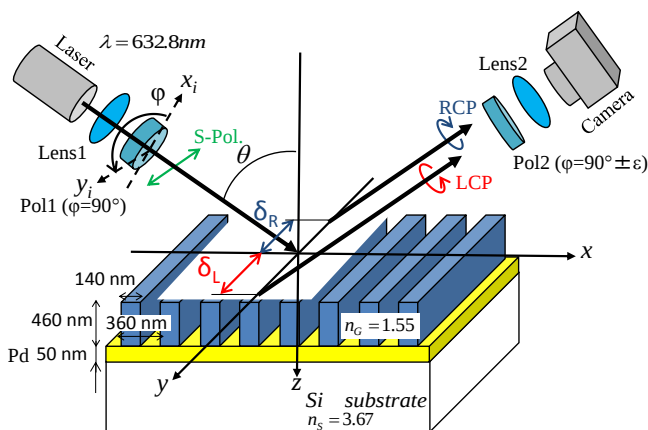


Fig. 1 Schematic model of a hydrogen guided-mode resonant sensor for SHE measurement.

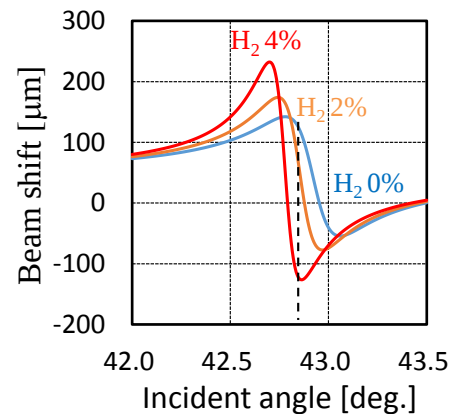


Fig. 2 Calculated beam shift with respect to incident angle in 0%, 2% and 4% H_2 , respectively.