

振動ポラリトンの測定に向けた変位センサーに よるキャビティ安定化システムの開発

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

現在、化学反応を制御する革新的な方法として「振動ポ ラリトン」を用いる方法に注目が集まっている。振動ポラリト ンとは、2枚のミラーを対向して配置したFabry-Pérot型共 振器(以降、キャビティ)内の光の定在波を、光と強く相互 作用する分子の振動モードと共鳴させることで形成される 準粒子である(Fig. 1)。これまでの研究から、振動ポラリト ンを形成することで反応速度や液体試料のイオン伝導性 が変化することが報告がされてきた^{1,2}。そのため、本現象 が実用化されれば有毒・高価な触媒や製造プロセスの代 替や、従来の手法では作成が困難な新薬・新材料の開発 が期待される。

しかし、本現象の根本的なメカニズムや再現性について は未だに議論が続いている^{3,4}。また、化学反応の変化の 大きさは定在波の波長と振動モードの共鳴のズレ(以降、 デチューニング)に強く依存すること^{1,5}も報告され、デチュ ーニングを含む実験条件を明確にすることが振動ポラリト ンの研究においてより重要となってきている。そこで、デチ ューニングを抑制・制御するために、変位センサーにより キャビティのミラーの間隔(以降、キャビティ長)の変化を計 測し、ピエゾステージにより補正するフィードバックシステ ムの開発を行った。

■ 研究方法・結果

1. フィードバックシステムの構築

Fig. 2のようにミラーマウント(SS100T-F2H, Newport)、レ ーザー変位センサー(CDXLW15, Optex FA)、レーザー変 位センサー用の参照ミラー、およびピエゾステージ(P-621.1CL, PI, full range 250 μ m)等によりフィードバックシス テムを構築した。本システムでキャビティ長の安定化を行う 際には、独自に開発したLabviewプログラムによりフィード バックを行う。本研究で用いるミラーとしては、CaF₂基板上 に5nmのSi層、その上にGe(515.1nm)とZnS(290.7nm)を4周 期成膜したDBR ミラーを用いた。

2. レーザー変位センサーの評価

レーザー変位センサーの正確性は、フィードバックをあ えて行わない状態で、レーザー変位センサーの測定値と キャビティの透過スペクトルから算出されるキャビティ長を 比較することで検証した。本検証では、ピエゾステージの 位置はステージに内蔵されたclosed-loop制御により一定 に保持した。また、キャビティ長は、転送行列によるシミュ レーションをもとに透過スペクトルをフィッティングすること

代表発表者 西内 ジョエル(にしうち じょえる) 所属 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 先端科学技術専攻

問合せ先 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5 Email: nishiuchi.joel.nj3@naist.ac.jp で算出した。本検証の結果をFig. 3に示す。Fig. 3から明らかなように、レーザー変位センサーの測定値はキャビティ長の変化と絶対誤差 0.25 µ m以内 で一致していることがわかった。また、フィードバックがない場合、キャビティ長は 5 時間で~0.8 µ m変化し、デチューニングの大きな変化を引き起こす要因となりうることがわかった。

3. 今後の予定

本結果に用いたレーザー変位センサーとは別に、より小型で電力消費の少ない半導体センサー(DS-H3BP-CN, JSD)の精度を上記と同様に評価する。これにより、本フィードバックシステムに適しているセンサーを明らかにする。その後、最適なセンサーを用いてフィードバックを行った時のデチューニングへの効果を調べる予定である。



Fig. 1. Illustration of a Fabry-Pérot Cavity and Molecules Creating Vibrational Polaritons.



■ 参考文献

[1] A.Thomas et al. Angew. Chem. Int. Ed. 55, 11462 (2016).

- [2] T. Fukushima et al. J.Am.Chem.Soc. 27, 12177 (2022).
 [3] M. V. Imperatore et al. J. Chem. Phys. 154, 191103
- (2021)
- [4] G. D. Wiesehan et al. J. Chem. Phys. 155, 241103 (2021)
- [5] K. Hirai et al. Chem. Eur. J. 28, e202201260 (2022)

