

MEMS 両持ち梁共振器のモード間結合とエネルギー交換周波数の関係

Intemode coupling and giant enhancement in thermal responsivity in doubly clamped MEMS beam resonators

東大生研/ナノ量子機構¹, 東京農工大²○近藤諒佳¹, 黒山和幸¹, 邱博奇¹, 張亜², 長井奈緒美¹, 平川一彦¹IIS/INQIE, Univ of Tokyo¹, Tokyo Univ. of Agriculture and Technology²○Ryoka Kondo¹, Kazuyuki Kuroyama¹, Boqi Qiu¹, Ya Zhang², Naomi Nagai¹, Kazuhiko Hirakawa¹

E-mail: ry-kondo@iis.u-tokyo.ac.jp

近年、非破壊検査分野でのテラヘルツ (THz) 電磁波のイメージング応用が注目され、THz 電磁波検出器の研究開発が活発に行われている。我々は、MEMS 両持ち梁共振器構造[1]を用いた THz ボロメータを提案し、研究を行っている。MEMS 梁に THz 電磁波が入射し、吸収されたときの梁部の温度上昇が、梁の熱膨張を誘起するため、その時の梁の共振周波数の変化として THz 電磁波のパワーを読み取ることができる。本素子は、MEMS の持つ高い Q 値と位相同期回路 (PLL) による FM 検波によって、室温動作可能で速い応答速度を実現できるが、より高い感度を持つことが望ましい[2]。

MEMS 梁を大振幅で駆動したときに現れるモード間結合効果は、特定の熱変調周波数で熱感度を大幅に改善することが分かっており[3]、その周波数は 2 つの共振モードの結合強さに依存した周波数差で決まることが分かったので報告する。

実験に用いた試料は、GaAs 変調ドープヘテロ構造を用いて作製した MEMS 両持ち梁構造であり、梁の寸法は、 $L = 130 \mu\text{m}$, $W = 30 \mu\text{m}$, $t = 1.5 \mu\text{m}$ である。1 次たわみ振動の共振周波数 f_L は Duffing 非線形性により、梁の駆動電圧の増加に伴って増加していく。この f_L と 1 次ねじれモード周波数 f_H が 1:3 になるとき、モード間の結合が発生し、振動モード間でエネルギーがコヒーレントに往復するようになる。この状態で梁に周期的な熱を印加すると熱変調周波数が 1250 Hz の近傍で、梁の共振周波数が大きく変化する様子を観測した (Fig. 1)。この熱変調周波数において、モード間結合の有無でボロメータの熱感度を比較した結果、前者で約 47 倍上昇していることが確認できた。

理論計算によって、この特別な熱変調周波数は 2 つのモードの周波数差によって決まることがわかった。Fig.2 は連成振動系の模式図である。Duffing 非線形性がある場合、モードカップリング時には $3f_L$ と f_H の振動が共鳴し、その反交差に対応した“うなり”が現れる。熱変調の周波数が、このうなり周波数に一致すると、モード間のコヒーレントなエネルギー移動が共鳴し、巨大な熱感度の増大が現れると考えられる。

[1] I. Maboob and H. Yamaguchi, Nat. Nanotech. **3**, 275 (2008).[2] Y. Zhang, S. Hosono, N. Nagai, S.H. Song, K. Hirakawa, J. Appl. Phys. **125**, 151602 (2019).

[3] 近藤 諒佳, 邱 博奇, 張 亜, 長井 奈緒美, 黒山 和幸, 平川一彦 第80回 応用物理学会秋季学術講演会, 19p-C309-14

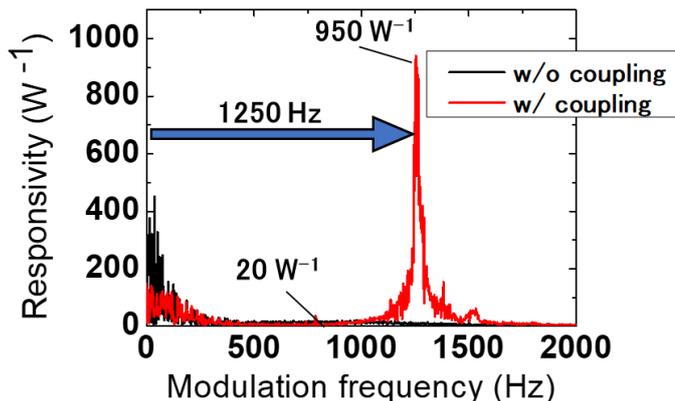


Fig. 1 The result of responsivity as a function of heat modulation frequency.

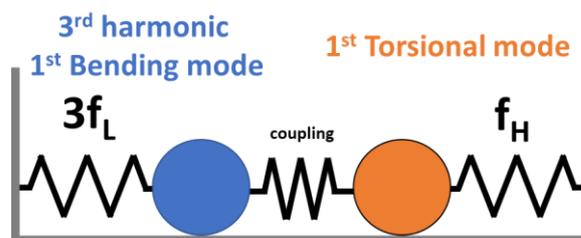


Fig. 2 The schematic of the coupled oscillators system, whose oscillators are 3rd harmonics of the 1st bending mode and 1st torsional mode respectively.