

フォトニクス視点から開拓する半導体熱流制御技術

Semiconductor heat flux control technology pioneered by photonics perspective

東大生研 ○野村政宏

IIS, The Univ. of Tokyo¹

E-mail: nomura@iis.u-tokyo.ac.jp

フォトニクス分野の研究経験を活かし、伝熱工学分野で研究を行った経験をもとに、フォトニクスがどのように半導体中の熱輸送現象の理解や熱制御技術開発に役立つのかを紹介する。フォノンエンジニアリングは、フォトンとフォノンの輸送特性の類似性から、その開拓にフォトニクスから学ぶところが多くあり、弾道的輸送特性と波動的輸送特性、またそのハイブリッドモードによる熱輸送現象や制御技術を紹介する。

半導体デバイス中の放熱問題や、熱機能性材料、環境熱発電などへの関心が高まっており、これらの材料やデバイス開発に欠かせないナノスケールフォノン輸送の理解と制御技術に関する研究が盛んに行われている。適切な設計によるナノ構造を用いた熱フォノンエンジニアリングが、この十数年で大きく進展した[1]。まず、大まかにフォトンとフォノンの輸送の類似性についてみると、幾何光学は直進する性質から経路を純粋に幾何学的に論じるが、これはフォノンの弾道的輸送特性とよい類似性をもつ[2]。また、光の波動性は、フォノンが本来もつ格子振動の伝播とよい類似性をもつ。熱フォノンは、スペクトルの広さと波長の短さから、低温かつコヒーレンスを保持できる環境でしか波動性を確保できないが、半導体超格子や酸化物半導体のような良質な周期構造で観測することができる[3]。その他、誘電薄膜における表面フォノンポラリトンが固体熱伝導を凌駕する現象[4]や、フォトニクスでは見られない流体力学的熱輸送について紹介する。

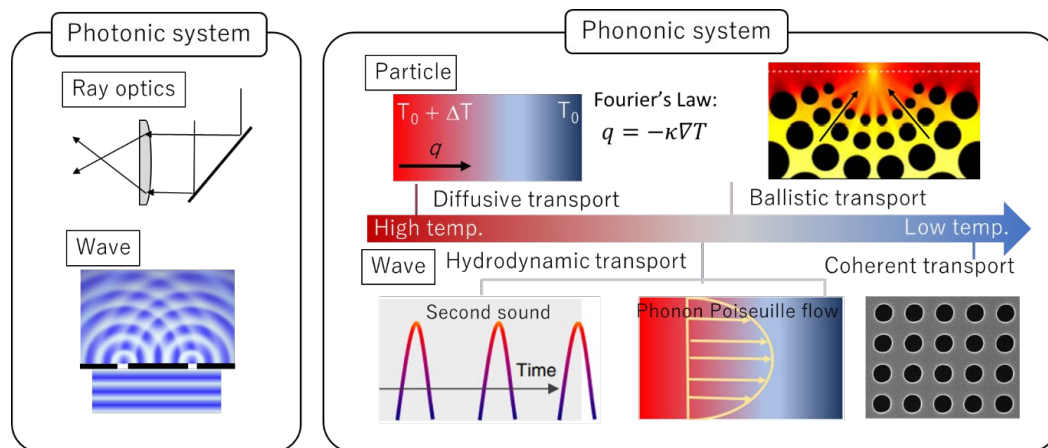


図 1. 光学とのアナロジーでフォノン輸送を論じることができる。波動的描像、粒子的描像に分けると理解しやすく、また、光学ではほとんどみられない流体的挙動もフォノンでは存在する。

謝辞：本研究は、JST CREST (JPMJCR19Q3 & JPMJCR19I1), JST Mirai (JPMJMI19A1)および科研費 (21H04635)の支援により遂行された。

参考文献： [1] M. Nomura, et al., Mater. Today Phys. 22, 100613 (2022). [2] R. Anufriev and M. Nomura, Mater. Today Phys. 15, 100272 (2020). [3] J. Ravichandran, et al., Nat. Mater. 13, 168 (2014). [4] Y. Wu, et al., Sci. Adv. 6, eabb4461 (2020).