

Interferometry with Bose-Einstein Condensates in Microgravity

H. Müntinga, H. Ahlers, M. Krutzik, A. Wenzlawski, S. Arnold, D. Becker, K. Bongs, H. Dittus, H. Duncker, N. Gaaloul, C. Gherasim, E. Giese, C. Grzeschik, T. W. Hänsch, O. Hellmig, W. Herr, S. Herrmann, E. Kajari, S. Kleinert, C. Lämmerzahl, W. Lewoczko-Adamczyk, J. Malcolm, N. Meyer, R. Nolte, A. Peters, M. Popp, J. Reichel, A. Roura, J. Rudolph, M. Schiemangk, M. Schneider, S. T. Seidel, K. Sengstock, V. Tamma, T. Valenzuela, A. Vogel, R. Walser, T. Wendrich, P. Windpassinger, W. Zeller, T. van Zoest, W. Ertmer, W. P. Schleich, and E. M. Rase

(Received 22 January 2013; published 25 February 2013)

近年、原子干渉計により量子論や相対論にまつわる様々な測定が行われており、その精度を向上させることが一つの目標となっている。干渉計を拡張して感度を向上させるために微小重力環境下で動作するマッハツェンダー原子干渉計の実現が目標達成のためのツールである。しかし微小重力環境下でマッハツェンダー干渉計を構成するにはコヒーレントな波源が必要である。そこで多数の粒子が最低エネルギーの状態に落ち込み、物質波同士が重なり合い一つの巨視的な波として振舞うボースアインシュタイン凝縮という現象は、原子干渉計の理想的な波源を提供する。

本実験ではブレーメンの微小重力センターの落下タワーで行われ、ボースアインシュタイン凝縮体を使用したマッハツェンダー原子干渉計を実現し、凝縮体の時間に対するコヒーレント特性について研究した。図1は微小重力環境下で動作したマッハツェンダー干渉計から生じる干渉縞のコントラストを干渉時間の関数として測定したものである。干渉時間が0.5秒ほどに拡張されても40%を超えるコントラストが達成され、本実験が今後国際宇宙ステーションの衛星ミッションで等価原理の検証を実装するための情報源となる。

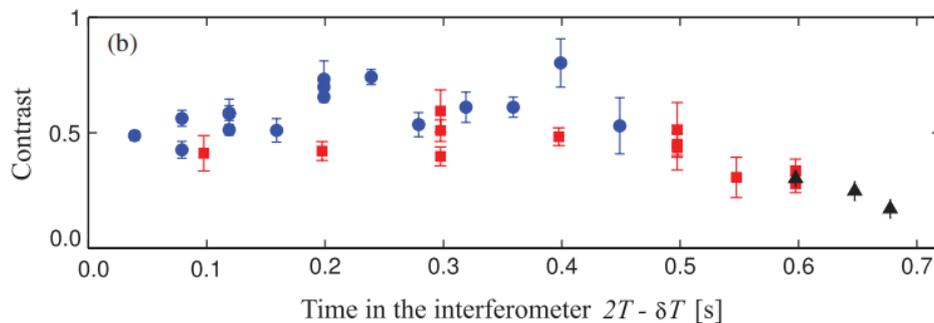


図1 干渉時間と干渉縞コントラスト

Thermal transport in graphene and effects of vacancy defects

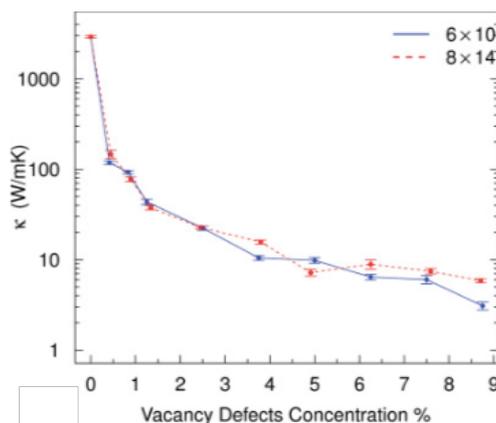
Hengji Zhang, Geunsik Lee, and Kyeongjae Cho

Physical Review B **84**, 115460 (2011)

近年、微細加工技術の発展によって、熱輸送をナノスケール領域で制御可能になり、現在では、熱輸送をより精密に、また、高度に制御することを目指したフォノンエンジニアリングという研究分野が確立されている。その研究分野で具体的に取り扱われている材料として、低次元炭素素材が挙げられる。その中でも、グラフェンは、常温で、通常の金属の10倍以上も大きい $3000\sim 5000\text{ W/m K}$ の熱伝導率を持つことが実験的に観測されている。この観測以来、このようなグラフェンの高い熱伝導率を説明するために、ボルツマン輸送方程式を用いた理論 (BTE 理論) や、分子動力学法による数値シミュレーションなどによって、多くの研究がなされてきているが、その熱伝導率に、グラフェンの面内の振動モードや面に垂直な振動モードのうち、どのフォノンモードが一番影響を与えているのかは、現在も様々な議論がなされている。

本論文では、得られたフォノン分散関係を第一原理計算から得られた結果と比較することによって最適化された経験的原子間ポテンシャル (optimized REBO ポテンシャル) を用いて 300 K のグラフェンの熱伝導率を平衡分子動力学法によるシミュレーションによって求めた。また、欠陥のないグラフェンと、点欠陥を導入したグラフェンの熱伝導率の比較をおこなった。

結果として、本論文で得られた分子動力学法による結果は、BTE 理論と実験の両方に良い一致を示した。また、「凍結法」と呼ばれる面内振動と面外振動に分けてそれぞれの熱伝導率寄与を計算する方法によって、面外振動がグラフェンの熱伝導率に大きく寄与していると結論付けた。さらに、グラフェンの熱伝導率の点欠陥濃度依存性を計算し、図に示すように、点欠陥を導入することにより、純粋なグラフェンの熱伝導率と比較して、約3桁の熱伝導率低下を示した。



図：熱伝導率の点欠陥濃度依存性

応用物理学特別演習

令和 元年 11月19日

結晶物理工学研究室 修士1年 柴田 涼誠

Experimental realization of a semiconducting quasicrystalline approximant in Al-Si-Ru system by band engineering

Yutaka Iwasaki, Koichi Kitahara, and Kaoru Kimura

PHYSICAL REVIEW MATERIALS 3, 061601(R) (2019)

1984年の準結晶の発見以来、多くの系で金属準結晶が発見されてきた。しかしながら、準結晶が結晶、非晶質に次ぐ第3の物質として確立されている今日でも、半導体や絶縁体の準結晶の存在は未だ確認されていない。

一方で、Al基の準結晶および近似結晶の中には半導体的な性質を持つAl-Pd-Re準結晶が発見されており、その性質は、擬ギャップと呼ばれるフェルミエネルギー近傍での状態密度の落ち込みと、電子の弱い局在が要因であると理解されている。

このAl-Pd-Re準結晶は、金属元素から構成されているため、金属と半導体の中間的な電気特性を有していると考えられている[1]。そのため高いゼーベック係数と電気伝導度が期待できるので、熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する熱電材料としての応用が期待されてきた。しかし、これまでに発見されている準結晶は実用材料と比べ性能が大きく劣っており、その要因としてゼーベック係数が低いということが挙げられている。この問題の解決のため、半導体準結晶の発見が準結晶の熱電材料への応用において非常に重要なものであると考えられる。

先行研究ではAl-Ir近似結晶C相が、有限のバンドギャップを有した半導体となると理論的に予測されていたが、実際に得られた近似結晶は金属的な性質を示すものであった[2]。本論文では、DFT(density functional theory)に基づいた軌道解析を行うことによって、Al-Si-Ru C相が半導体的なバンド構造を持つことを理論的に予測し、その結果に基づいて約0.15eVと見積もられるバンドギャップを有したAl_{67.6}Si_{8.9}Ru_{23.5}半導体近似結晶の実験的な合成に初めて成功した。図1はゼーベック係数と電気伝導度の温度依存性を示したもので、今回得られた半導体近似結晶が350Kにおいて約200μV/Kという高いゼーベック係数を有し、電気伝導度に関しては正の温度係数を持っていることが確認された。

[1]K.Kitahara and K.Kimura, J.Appl.Phys.

92, 979(2002)

[2]Y.Iwasaki, K.Kitahara, and K.Kimura,

J.Alloys Compd. 763, 78(2018)

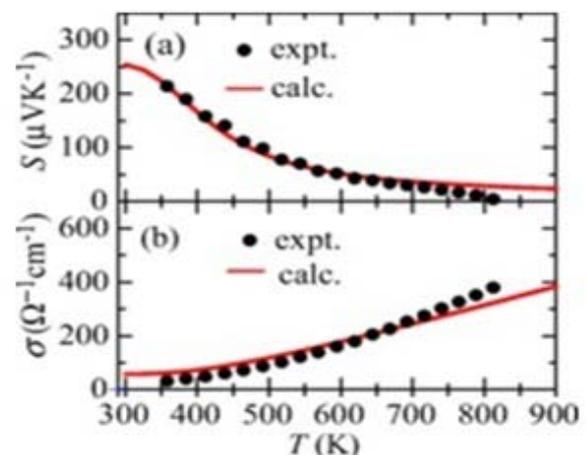


図1 Al_{67.6}Si_{8.9}Ru_{23.5} C相のゼーベック係数と電気伝導度の温度依存性