

光学フォノンモードに由来する極低温における比熱の増大

Enhancement of specific heat in cryogenic temperature originating optical phonon mode

物材研 ○(P)西岡 颯太郎, 齋藤 明子

NIMS, °Sotaro Nishioka, Akiko T. Saito

E-mail: NISHIOKA.sotaro@nims.go.jp

極低温環境を生成する手段として用いられる GM 冷凍機では、蓄冷材として以前は鉛が使われており、その音響フォノン自由度を用いることで 10 K 程度の最低到達温度を実現していた。近年、磁性体 (HoCu_2 や $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ など) の極低温域での大きな電子スピン自由度が活用されるようになり、GM 冷凍機による 2 K までの冷凍や、ヘリウムの液化も可能となった。最近では、医療用 MRI を始め、量子コンピュータや高感度センサなどの冷却への応用が進められているが、磁性蓄冷材の発する磁気ノイズが 1 つの課題となっている。我々は、光学フォノン自由度を蓄冷に活用することで、磁気ノイズを発生せずにヘリウム温度を生成する新たな試みを進めている。音響フォノンの比熱への寄与は T^3 に比例するため極低温で急激に小さくなる。一方、光学フォノンは振動モードによって様々な比熱への寄与があるため極低温でも生き残っている可能性がある。

我々は、 Cu_2O 型立方晶の Ag_2O (Fig. 1) に着目している。この物質は、光学フォノンに起因する大きな負の熱膨張係数を持つ物質として知られ[1,2]、低温域でデバイモデルでは説明できない比熱の振る舞いを見せる [3,4]。100 mK までの比熱測定結果を Fig. 2 に示す[3]。 Ag_2O の 10 K 以下の比熱は T^3 に比例せず、音響フォノンが支配的な鉛やビスマスと比べて非常に大きな熱容量を有する。さらに、進化的アルゴリズム(CMA-ES)を用いて、比熱測定結果からフォノン状態密度のシミュレーションを行った。得られた結果は、過去に行われた非弾性中性子散乱による実験データと整合しており、フォノン状態密度の低エネルギー領域に低温の比熱に対応する構造を持っていることが分かった。講演では、 Ag_2O の冷凍機搭載試験に向けた検討についても報告する。本研究は JSPS 科研費 JP21H01267 の助成を受けて行われた。

[1] W. Tiano *et al.*, J. Appl. Crystallogr. **36**, 1461 (2003).

[2] M. K. Gupta *et al.*, J. Appl. Phys. **115**, 093507 (2014).

[3] A. T. Saito and S. Nishioka, 29th Inter. Conf. on Low Temp. Phys., P22-SF5-17 (2022).

[4] 山下知大ら, 第 59 回日本電子材料技術協会秋期講演大会. 予稿集 (2022).

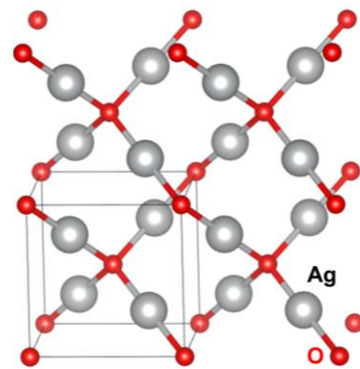


Fig. 1 Crystal structure of Ag_2O .

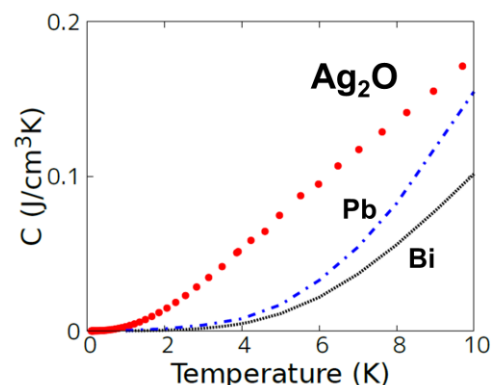


Fig. 2 Comparison of heat capacities of Ag_2O and non-magnetic refrigerants of lead (Pb) and bismuth (Bi).