

研究紹介 1

熱スイッチ方式断熱型熱量計の改良と岩塩の熱容量測定

本レポート No.20(1999)で熱スイッチ方式熱量計の試作として記載していた熱量計に改良が加えられ、低温における操作性が向上しました。今回のこの装置で塩化ナトリウムの単結晶の熱容量測定を行いました。塩化ナトリウムのこれまでの熱容量のデータとしては、Clusius (Clusius, K. Goldman, J. and Perlick, A., *Naturforschg.*, 4a, 424 (1949)) ($T = 10 \sim 265$ K) や Martin (D. L. Martin., *Phil. Mag.*, Series 7, 46, 751 (1955)) ($T = 3 \sim 20$ K) があります。しかし数値データとして発表されているのは前者のみです。NaCl のようにありふれた物質を取り上げたもうひとつの理由は不要となった分光器から巨大な単結晶の NaCl が入手できたからです。試料容器に合わせて円筒形に削り出した単結晶の熱容量を測定するののもひとつの目的でした。

まずは装置の説明をします。熱スイッチ部分を Fig. 1 に示しておきます。試料容器は細い鋼のワイヤーで吊り下げられています。その容器をシールドが二重に取り囲んでいて、内側のシールドは外側のシールドから、外側のシールドは冷媒タンクからそれぞれひもで吊り下げられています。試料容器を引き上げることで二重の断熱シールドもいっしょに引き上げられます。これらを液体ヘリウム冷媒タンクと接触するまで引き上げることで試料を金属の熱伝導により冷却することができます。これが接触型熱スイッチの仕組みです。測定前の冷却においては液体窒素温度までは本体の周りに配置した窒素デューワーに液体窒素を入れ本体内に熱伝導体としてヘリウム気体を入れて試料温度を下げます。そこから液体ヘリウム温度まで試料の温度を下げるにはヘリウム気体を用いないで、真空状態で接触型熱スイッチを用います。そのため、この熱量計の真空層は従来 2 系統だったのに対して 1 系統になっています。さらに真空のまま温度が下げられることは 5 K 付近での熱測定をかなり便利にします。熱スイッチでの冷却速度を一定にするためにワイヤーを引き上げるもの

として最大 5 kg のバネばかりを用いました。熱スイッチの接触圧はこれで再現性よく設定することができました。このときの冷却速度は液体窒素温度から 5 K まで下げるのに 2 時間 30 分ほどかかります。鋼のワイヤーの下端約 6 cm をナイロンの糸に変えてあります。それは熱抵抗を高め、また電氣的に絶縁するためです。この熱スイッチの問題点は熱スイッチ開放後にかなりの熱流入があることでした。熱流入は冷却の最終段階に暫時、張力を小さくすることで軽減できました。したがって発熱は張力のエネルギーがワイヤーやナイロンの糸から熱として放出されるのかもしれない。

Fig. 2 は熱容量測定に用いた試料 (岩塩) と試料容器の写真です。試料は分光器用の NaCl 単結晶から直径 13.5 mm, 高さ 18.5 mm の円筒の形をしたもの (5.9467 g) を切り出したものです。試料容器の容積は 2.9 cm^3 でした。試料容器には試料とともに約 10 kPa のヘリウムを充填しました。このガスは 5 K において

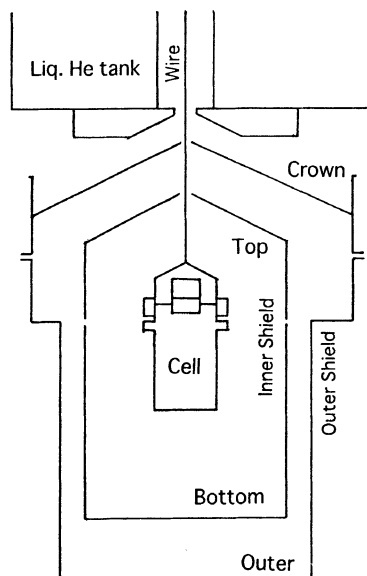


Fig. 1. Thermal switch. For initial cooling of the sample, the cell is pulled up with the wire along with the surrounding shields.

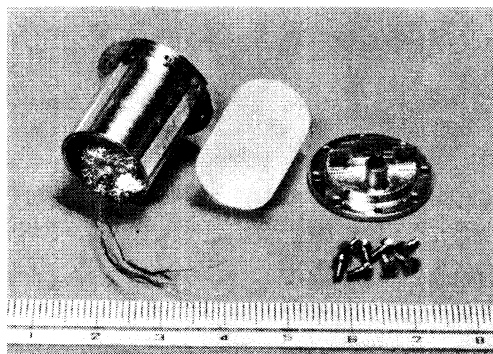


Fig. 2. The sample cell and sample (sodium chloride).

約 0.17 kPa の熱伝導ガスとして作用します。最後に測定結果を示します。Fig. 3 は測定した NaCl 単結晶の熱容量と Clusius のデータとさらに Martin のデータをプロットしたものです。Martin のデータは低温部分のみのデータであり、デバイ特性温度でしか発表されていませんでした。しかも数値として発表されていなかったのがグラフから読み取ってここに用いました。デバイ特性温度と定積熱容量には次の関係が成り立っています。

$$C_v(x) = 3R \left[\frac{4\pi^4}{5x^3} - \sum_{n=1}^{\infty} \left(3(nx) + 12 + \frac{36}{nx} + \frac{72}{(nx)^2} + \frac{72}{(nx)^3} \right) \frac{e^{-nx}}{n} \right] \left(x = \frac{\theta_D}{T} \right)$$

この式からデバイ特性温度を熱容量に計算してプロットしてあります。逆にデバイ特性温度に換算した値をプロットしたものを Fig. 4 として示しておきます。なおデバイ温度の計算においては圧縮率と熱膨張係数を用いて実験値を定積熱容量に換算しました。

(田中 伸樹, 松尾 隆祐)

An Adiabatic Calorimeter. Heat Capacities of Single Crystal Sodium Chloride.

An adiabatic calorimeter for heat capacity measurement at temperatures between 5 and 320 K has been constructed. A mechanical thermal switch was devised by which the sample is cooled to 5 K from 80 K in 2.5 h. It utilizes a thin stainless steel wire to pull up the cell into thermal contact with the liquid helium bath at a constant tension of up to 5 kg weight. The heat capacity of a cylindrical single crystal sodium chloride (13.5 mm diameter and 18.5 mm height) was measured and the results were compared with existing data.

(by N. Tanaka & T. Matsuo)

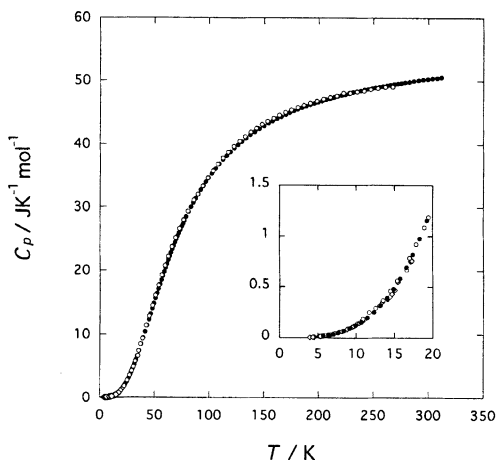


Fig. 3. Molar heat capacity of sodium chloride. (●) present data, (○) Clusius data, (◇) Martin data

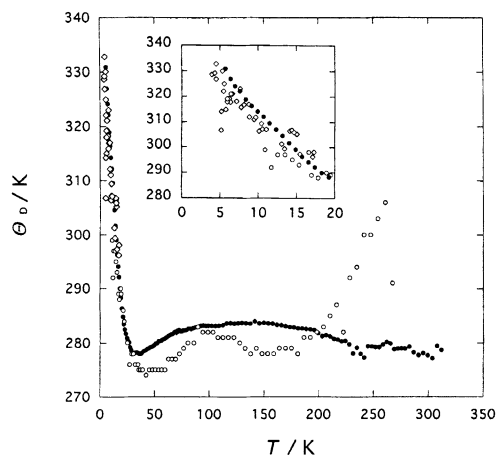


Fig. 4. Debye temperature of sodium chloride. (●) present data, (○) Clusius data (◇) Martin data