

NMR Knight shift in an alkali-metal coating on glass walls

Graduate School of Material Science, University of Hyogo

Kiyoshi Ishikawa

ガラス容器内面を金属 Cs や Rb でコートする際、不純物が混入すると伝導電子密度が変化する。薄膜の伝導電子は気体原子に対するポテンシャルを形成し、密度制御は原子を使った精密計測に重要である。一方、伝導電子により NMR 周波数は変化(ナイトシフト)するので、金属中の不純物を NMR 検出できる。以前、不純物の1つは酸素と同定したが、未知の不純物が Si などガラス成分なら、化学反応が持続しポテンシャルが変化し続けると発表した [1, 2]。最近、その推測は誤りで、不純物が Na 金属だとわかったので、発表で訂正する。

除去の難しい不純物が Na であることを確認するため、Na を意識的に加えた Cs-Na, Rb-Na 合金をガラス容器に封入し、金属の融点 28.5 °C (Cs), 39.3 °C (Rb), 97.9 °C (Na) 付近で温度掃引し、¹³³Cs (共鳴周波数 ~53.27 MHz@9.4 T) ⁸⁷Rb (~131.8 MHz), ²³Na (~106.0 MHz) NMR 周波数を記録した。主成分の金属融点付近で冷却すると、液体合金の NMR 周波数と異なる信号が現れた。Cs-Na, Rb-Na 合金の相図によると、Cs-O, Rb-O と同様、高純度な固体の信号である。一方、合金の固液共存曲線に沿って NMR 周波数を測定すると、意識的に Na を加えていない金属に現れる信号と、周波数の温度依存性が一致した。

Na は他のアルカリ金属に混入しやすい。以前、この常識を生かせなかったのは、Na も電子を1個ずつ提供するのでナイトシフトに影響しない、と考えたからである。実際は、Na が混ざると金属の体積が減少し [3]、電子のフェルミエネルギーが増加する。相対的にゼーマン分裂の割合が小さくなり、電子のスピンの偏極率(磁化)が小さくなる。したがって、核の感じる磁場が小さくなり、ナイトシフトも小さくなる。当初の目的は、金属 Cs 膜の電子密度を下げ、He 原子に対するポテンシャルを遠浅にすることだった。酸素が金属 Cs に溶解すると電子密度が下がるのに対し、Na が混ざると密度が上がる。どちらもナイトシフトが小さくなる不純物だが、酸素は加え、Na は除去した方が良さそうだ。

[1] NMR 計測によるガラス容器内のアルカリ金属相転移, 日本物理学会 秋季大会, 25aRB-9 (2006).

[2] ガラス容器内の原子のスピンドYNAMICS, 日本物理学会 年次大会, 27pSD-4 (2009).

[3] アルカリ金属のモル体積は, 70.9 (Cs), 55.8 (Rb), 45.9 (K), 23.8 (Na) cm³@25 °C である。