

水晶振動子マイクロバランス法による液体金属環境下物質輸送現象に関する研究

Detection of small mass transfer in liquid metals by quartz crystal microbalance

*飯塚 玲雄¹, 近藤 正聡², 佐藤 聡³

¹ 東京工業大学工学院機械系, ² 東京工業大学科学技術創成研究院, ³ 量子科学技術研究開発機構

液体金属リチウムやナトリウム中において溶出しやすい鋼材構成元素であるニッケル(Ni)の 473 K 及び 523 K における物質輸送挙動を水晶振動子マイクロバランス法(QCM)により明らかにした。液体金属中の Ni 溶解度のモデル評価により、これらの液体金属中における拡散係数を求めた。

キーワード： 水晶振動子マイクロバランス法、液体金属、物質輸送現象、腐食、拡散係数

1. 緒言 液体リチウム(Li)やナトリウム(Na)は、核融合炉の燃料増殖材や核融合中性子源のターゲット材、高速増殖炉の冷却材として期待されている。しかし、候補構造材料であるオーステナイト鋼は液体 Li や Na に対して大きな溶解度を示すニッケル(Ni)を含み、化学的共存性に課題がある。高温条件における共存性データに比べ、低温条件における共存性データは圧倒的に少ない。水晶振動子マイクロバランス法(QCM)は、その電極材料の微小な質量増減を共振周波数の変化として取り出すことができる。本研究では、水晶振動子の Ni 電極を液体 Li や液体 Na と接触させ、その共振周波数の変化から QCM を用いて、液体金属中に溶解した Ni の質量を測定した。モデル評価から拡散係数等のパラメータを算出し物質輸送現象を明らかにした。

2. 実験方法 直径 5 mm の電極として厚さ約 300 nm のニッケル(Ni)がコーティングされた水晶振動子を用いた。水晶振動子の基本振動数は約 9 MHz である。Ar ガスで満たされたグローブボックス内で、Fig.1 に示すように Ni コーティング上に同径の筒を配置し、切断した Li もしくは Na(約 0.05 cc)を入れた。加熱温度を 473 K、523 K にして、加熱時間を 600 s と 1200 s とした。実験後、水晶振動子に付着した Li と Na を水とエタノールで除去した。その後、水晶振動子の共振周波数を測定し、実験前後の振動数の変化を Saurbrey の式(Eq.(1))により Ni の溶解量として評価した。

$$\Delta f = -\frac{2f_0^2}{A\sqrt{C_q\rho_q}}\Delta m \quad (1)$$

ここで、 Δf は振動数変化[Hz]、 f_0 は固有振動数[Hz]、 A は電極面積[cm²]、 C_q は剛性率[g/cm³]、 ρ_q は密度[g/cm³]、 Δm は質量変化[g]である。

3. 実験結果・考察 液体金属中への Ni の溶出質量を Fig. 2 に示す。473K と 523 K の Ni 電極の液体 Li 中への溶解量の平均値は、それぞれ 6.69×10^{-3} g/m² と 1.29×10^{-2} g/m² であった。473 K で 600 s および 1200 s 加熱した時の Ni の液体 Na 中への溶解量は、それぞれ 3.43×10^{-3} g/m² と 6.67×10^{-3} g/m² であった。既往研究におけるオーステナイト鋼の腐食の温度依存性と良く合致する事が分かった。フィックの第二法則により液体金属静止場の拡散係数を求めた結果、473K における Ni の液体 Li への拡散係数は 1.17×10^{-10} m²/s であり 523 K では 1.95×10^{-10} m²/s と求められた。473 K における Ni の液体 Na 中への拡散係数は 1.16×10^{-12} m²/s と求められた。

参考文献

[1] X. Meng, G. Zuo, W. Xu et al, Fusion Eng. Des. **128** (2018) 75–81 [2] P. Favuzza, A. Aiello, A. Antonelli et al, Fusion Eng. Des. **136** (2018) 1417–1421 [3] L. Iizuka, M. Kondo, ITC29 Poster-1-F4-8

*Reo Iizuka¹, Masatoshi Kondo², Satoshi Sato³

¹ Tokyo Institute of Technology, School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Graduate Major in Nuclear Engineering, ² Tokyo Institute of Technology, Institute of Innovative Research, Laboratory for Advanced Nuclear Energy, ³ Quantum and Radiological Science and Technology

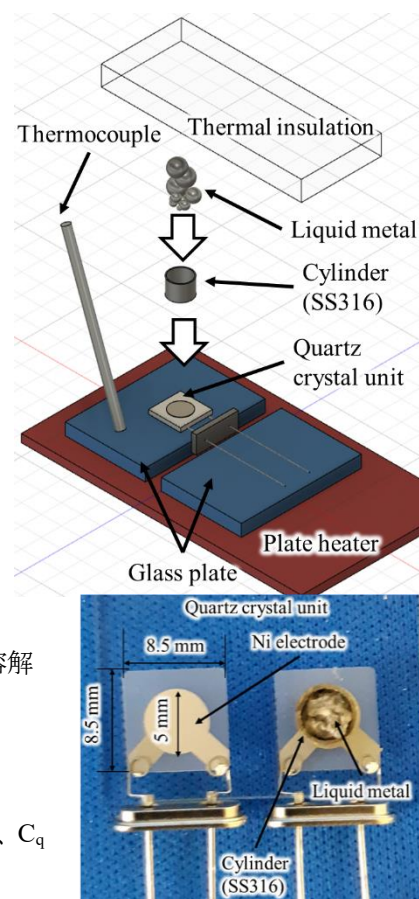


Fig.1 Experimental apparatus of QCM test

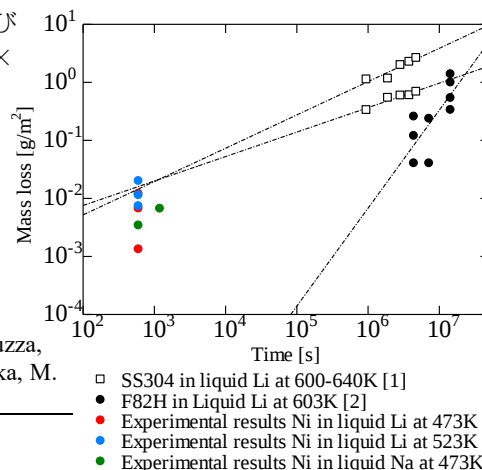


Fig.2 Results of mass loss of Ni in liquid Li and Na at 473K and 523K