

無容器法を用いた拡散係数測定を試み

宇宙研 樋口健介, 稲富裕光

A Test for Diffusion Coefficient Measurement using Containerless Processing

Kensuke Higuchi and Yuko Inatomi

Institute of Space and Astronautical Science Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa 229-8510

E-Mail: khiguchi@isas.jaxa.jp

Abstract: Our purpose is the diffusion coefficient measurement using containerless processing to clarify the mass transfer mechanism in high temperature melts. Therefore, diffusion experiments as couples of molten Si-Ge and Al-Ag alloys have been performed using electromagnetic levitator combined with superconducting magnet. In this result, possibility of diffusion coefficient measurement in levitated melts applied static magnet field can be suggested, because the convection becomes efficiently slow.

Key words; diffusion coefficient, high temperature melt, electromagnetic levitation, convection

はじめに

微小重力環境下での拡散実験によって、金属融体の拡散係数はベキ乗型の温度依存性をとることが明らかになってきた[1]。拡散係数の温度依存性を解明するためには、さまざまな試料について1500K以上の高温域での値が重要となる。そこで本研究では、高温試料の保持に有効な無容器による拡散係数測定法を開発する。本研究が完成すれば、過冷却域での拡散係数測定も可能となり、新たな研究分野の萌芽ともなろう。

拡散実験における最大の問題は対流である。このため、Bossuytらは微小重力下で静電浮遊法を用いて拡散係数を測定する方法を検討している[2]。しかしながら、微小重力下での静電浮遊の実績はまだまだ乏しく、実験機会も少ない。地上においては、静磁場を用いて金属融液の対流を抑制することで、ロングキャピラリー法による拡散実験[3]および電磁浮遊法を用いた熱伝導率測定に成功している[4][5]。そこで我々は、超伝導マグネットを用いた静磁場印加型電磁浮遊炉[4]を用いて浮遊拡散実験を試み、静磁場による対流の抑制度合いを明らかにした。

実験

拡散係数はフィックの法則により決まる。このためには異種金属融液を接合して、一定時間拡散させ、それらの濃度分布を計測する必要がある。ここでは浮遊拡散させた後、急冷凝固した試料の濃度分布を測定する方法(A)と、浮遊状態において濃度分布の時間変化をその場観察する方法(B)の2つの実験を行った。

阪大の塚田らのシミュレーションによれば、静磁場6T中で電磁浮遊した液滴の中心付近では十分に

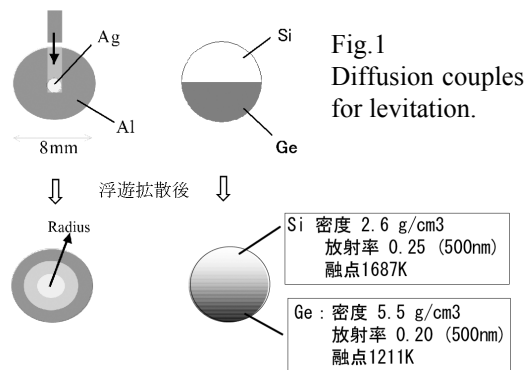


Fig.1
Diffusion couples
for levitation.

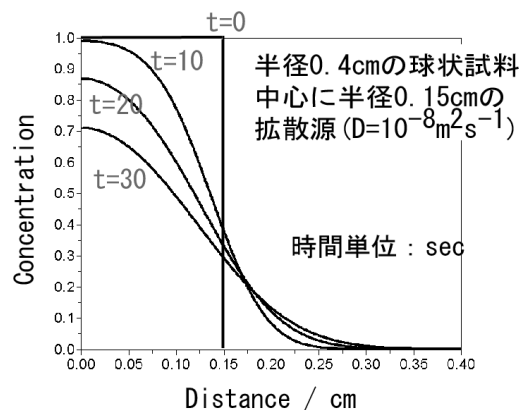


Fig.2 Calculated diffusion profile in a sphere-like sample in case of no convection.

対流が抑制されている[5]。そこで急冷凝固法(A)では、Fig.1のようにAl内部に拡散源となるAgを埋め込んだ試料を用意した。Fig.2は、対流がないと仮定し、球状試料内で拡散した場合の濃度分布の計算値である[6]。この試料を静磁場6T中で電磁浮遊し、融解→拡散→急冷凝固した。雰囲気は6NのAr、また試料冷却のため6NのHeを用いた。溶融時間は総計で約100秒である。凝固後の試料の濃度分布は、X線顕微鏡を用いて透過強度から推定した。

その場観察法(B)では、浮遊液滴をCCDカメラ(ローパスフィルタ付)で撮影し、放射輝度の差

から濃度分布の時間変化を推定した。試料には青色域で放射率に差がある Si と Ge 用い, Fig.1 のように重ねた状態で, (A) と同様に静磁場 6T 中で浮遊溶解させた。

実験結果と考察

急凝固法 (A) で得た球状試料の X 線透過像を Fig.3 に示す。Ag の X 線吸収係数は非常に高いので、透過強度の低く暗い部分が Ag である。球の端側が透過経路の短いことを考慮して解析した結果、球の中心から等方的に Ag が分布していることがわかった。このことから浮遊溶解中の試料内部では、静磁場によって対流は抑制され、Ag は中心から表面に向かって等方的に拡散したと推察される。

その場観測法 (B) による拡散実験時の温度プロフィール Fig.4 と、浮遊溶解中の Si-Ge 対の CCD カメラによる撮影画像 Fig.5 を示す。また液滴の鉛直方向(点線の枠の範囲)の輝度分布を Fig.6 に示す。拡散初期の 165sec では上部に比べて試料下部の放射輝度は低いに対し、200sec での放射輝度分布は、十分拡散して均一になっているため上下の輝度がほぼ等しくなっている。なお、輝度分布が弓形になっているのは浮遊液滴の外形にピントが合っているためである。この結果は Fig.1 のように、浮遊液滴の下側には密度が高い Ge が分布し、また放射率が低い暗くなるという予想とよく合っている。

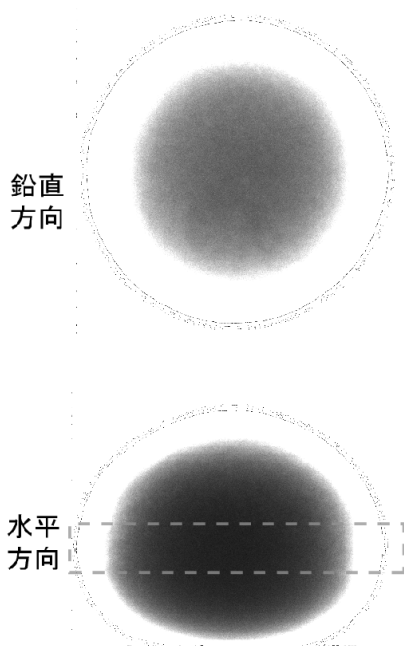


Fig.3 X-ray transmission images of spherical Al-Ag sample after diffusion experiment from (A) perpendicular and (B) horizontal direction.

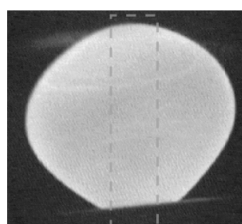


Fig.5 An horizontal view of Levitated molten Si-Ge during diffusion using CCD camera

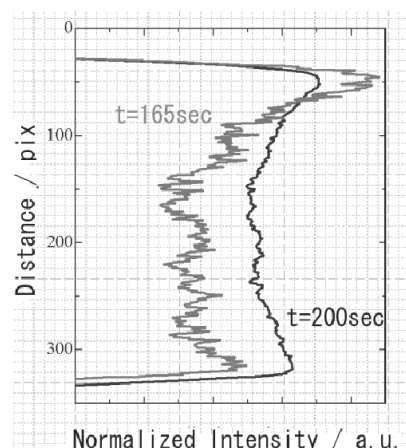


Fig.6 Variation of radiation intensity from levitated molten Si-Ge

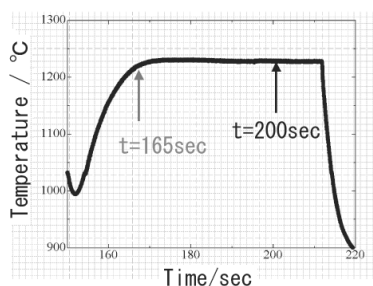


Fig.4 Temperature profile of Si-Ge

また拡散時間も Fig.2 で計算した結果とほぼ合う。

以上の 2 つの実験から、静磁場 6T を印加した状態で電磁浮遊法を用いて拡散対を浮遊溶解した場合、静磁場により対流はほぼ抑制され、拡散によって混合が進んだと結論できる。

まとめ

静磁場印加電磁浮遊炉を用いて、2 つの拡散実験を行った。この結果、浮遊溶解状態においても静磁場 6T により対流は十分に抑制され、物質輸送の大部分は拡散により起こっていることがわかった。今後は、拡散時間と温度のコントロールおよび濃度観測方法を改善し、拡散係数の測定を行っていく。

参考文献

- [1] T. Masaki et al., Meas. Sci. Technol. 16 (2005) 327
- [2] Bossuyt et al, Rev. Sci. Instrum., 76 (2005)033909
- [3] Miyake et al, Jpn. J. Appl. Phys., 41(2002)L811
- [4] Inatomi et al, Int. J. Thermophys., 28 (2007) 44
- [5] H. Kobatake et al., Appl. Phys. Lett., 90 (2007) 094102
- [5] Private communication
- [6] Carslaw and Jaeger, "Conduction of Heat in Solids" (1959)