

負の熱膨張率を有する材料と複合材料の熱膨張率制御への応用

早川 裕子*・磯部 敏宏*†

*東京工業大学物質理工学院材料系 東京都目黒区大岡山2-12-1 (〒152-8550)

† Corresponding Author, E-mail: isobe.t.ad@m.titech.ac.jp

(2016年11月9日受付, 2016年12月8日受理)

要 旨

装置やデバイスの高精度化により, 材料の熱膨張率制御の必要性が高まっている。近年, 高性能な負の熱膨張率を有する材料(負熱膨張材料)が多数報告されている。負熱膨張材料は, 複合体の第2相として使用すると, 少量で効果的に母材の熱膨張を相殺できることから, 複合体への応用が検討されている。負熱膨張材料は, 発現機構によって(1)相転移に起因するもの(2)フレームワーク構造を有するもの, に分類される。負熱膨張材料をフィラーとした複合体が多数報告されており, その熱膨張率は, おおよそ複合則とTurnerの式で予測される値の中間の値を示すが, 正確に予測することは困難である。このため, フィラーとマトリックスの界面の相互作用などの精密な議論が今後の課題とされている。

キーワード: セラミック, フィラー

1. 緒 論

物質は加熱すると体積が膨張することが知られている。その熱膨張率は材料ごとに大きく異なり, 金属で10~30 ppm/K, プラスチックや樹脂で50~200 ppm/K, セラミックスやガラスで1~25 ppm/Kとされる。近年, たとえば, 電子機器や光学機器, 燃料電池やセンサ等, 複数の素材を組み合わせるデバイスでは, 熱膨張による位置ずれが問題になるほか, 各素材の熱膨張係数の違いが界面剥離や断線といった深刻な障害に繋がる。このため, さまざまなニアゼロ熱膨張材料や熱膨張制御技術が研究されている。インバー合金, ガラス, コージェライト等は, 単相でニアゼロ熱膨張であることが広く知られ, 工業製品や民生製品に応用されている。近年, 低熱膨張率のフィラー材との複合化によって, 単相で熱膨張率の制御困難な物質の低熱膨張化が検討されている。とくに, 低配合比で効果的に熱膨張を相

殺できることから, 負の熱膨張率を有する材料(負熱膨張材料)との複合化が注目されている。これは, 母材の性質を維持しつつ, 熱膨張率のみを制御できると期待されている。本稿では, 負熱膨張材料の種類と特徴を紹介するとともに, 実際に報告されている複合材の特性を紹介する。

2. 固体の熱膨張率

熱膨張は, 基本的に原子間距離で説明される。図-1に固体中の原子同士の結合距離とポテンシャルエネルギーの模式図を示す¹⁾。ポテンシャル曲線の形状は非対称の井戸型と言われている。温度が上昇($T_0 \rightarrow T_2$)すると, 原子間の振動が大きくなり, 平均原子間距離 r が増大($r_0 \rightarrow r_2$)する。つまり, 物質が熱膨張するのは, 原子間のポテンシャル曲線が非対称であることに由来する。結合強度が強いほど, 井戸の“口”の部分狭く, 対称性が高まるため, 熱膨張率が小さくなる。

一方, 巨視的には, 固体の線熱膨張率と体積熱膨張率はそれぞれ以下の式で与えられる。

$$\alpha_l = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \dots \dots \dots (1)$$

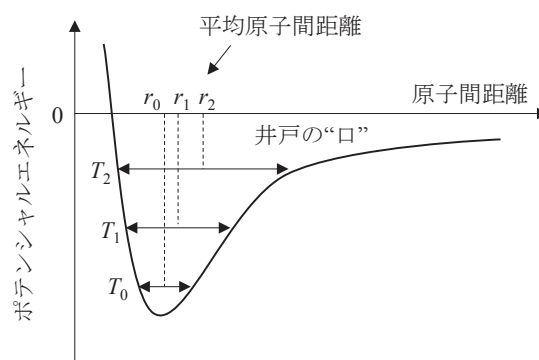


図-1 固体中の原子間距離とポテンシャルエネルギーの関係¹⁾



〔氏名〕 はやかわ ゆうこ
〔現職〕 東京工業大学大学院物質理工学院材料系
〔趣味〕 バドミントン
〔経歴〕 2016年東京工業大学工学部無機材料工学科卒業。



〔氏名〕 いそべ としひろ
〔現職〕 東京工業大学物質理工学院材料系 助教
〔趣味〕 マラソン
〔経歴〕 2001年名古屋工業大学大学院博士課程前期修了。2003年東京工業大学大学院博士課程後期修了。博士(工学)。2006年産業技術総合研究所産総研特別研究員。2008年東京工業大学大学院理工学研究科特任助教。2010年東京工業大学大学院理工学研究科助教。2016年から改組により現職。