

半導体ダイボンディングフィルム材料設計支援システムの効果

齋藤義人[†] 稲田禎一[‡] 松尾徳朗[†] 村形晃規[†] 橋浦悠二[†]山形大学大学院理工学研究科[†] 日立化成工業株式会社[‡]

1. はじめに

近年、電子機器用の半導体デバイス性能は、数年前の半導体デバイスと比較して飛躍的に高性能化されてきている。小型、薄型の半導体パッケージであっても高い性能を持つため、これらを搭載した様々な電子機器は、小型かつ高性能となっている。しかし、高性能化や小型化といった半導体パッケージ開発の技術の進歩は、社会のニーズにより極めて早いため、材料の特性に関する予測が難しく、時間のかかる材料開発は難しくなっている。

本論文では、緩やかな条件や制約に基づいて、候補となる組合せを複数出力することができる弱条件組合せ線形計画法を利用した材料設計を支援する手法とシステムについて提案する。弱条件組合せ線形計画法は、候補となる組合せを複数出力できるという性質から、現実的な材料開発現場において極めて有効とされる。本論文では、本手法を具体的なシステムとして実装した材料設計システム M-Designer を紹介するとともに、実際の材料開発に対する効果を議論する。

2. 材料設計

新しい材料を開発する際に、単に試料を混合することで配合物生成を行うだけではなく、生成の過程において、加圧や加熱などの操作により、単に混合しただけでは得ることができない特性を得ることが可能である。開発した新しい材料の求められる特性に関しては、「切断面が滑らかになる必要がある」、「加熱後急速に冷却した場合に伸縮が少ない」、などといったように配合物の化学的特性ではなく、物理的特性が求められることが極めて多い。また、試料に関しては、類似する特性を有する試料がいくつも存在することがある。加圧や加熱などの工程に関しても、その適用の必要があるか否か、適用の順序が存在する場合においては、材料設計が更に複雑になる。

3. 推定方法

半導体ダイボンディングフィルム用の材料設計においては、複数の工程が伴う場合でも、概ね線形近似や線形結合で表現できることが著者らの分析の結果明らかとなった。そこで、より材料設計において実用的に利用できる手法として、線形計画法に基づいた弱条件組合せ線形計画法を新規に説明する[1]。

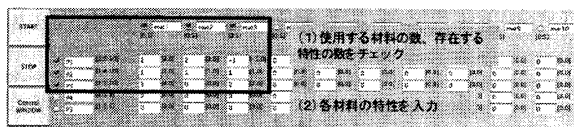
弱条件組合せ線形計画法の標準形を式(1)に示す。変数ベクトル x は試料であり、変数ベクトル y は物理的操作を表す。これらは、現実的な(準備可能な)試料の量や、可能な物理的操作の量(強さ、程度)がある閉区間で定義される。例えば、式(1)中の x_i は変数ベクトル x の i 番目の要素であり、閉区間 $[p_i, q_i]$ で定義される。一方、右辺ベクトル b についても、通常の線形計画問題においては定数で定義されることに対して、材料設計においては、配合物の応用可能性や拡張可能性を考慮して、ベクトル x と同様にある閉区間で定義される。また、係数行列 A は、配合前の各試料の特性を示しており、その各要素は、それぞれ配合前の試料に応じた特性、すなわち、弾性率、タック、流動性、高温ピールなどを表している。

$$\begin{array}{l}
 \text{目標} \\
 \text{制約条件}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 f = c^T \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\
 A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix} \\
 x_i = [p_i, q_i] \\
 y_j = [p_j, q_j] \\
 b_i = [r_i, s_i] \\
 d_j = [r_j, s_j] \\
 x \geq 0 \\
 y: \text{free}
 \end{array} \right\} \quad (1)$$

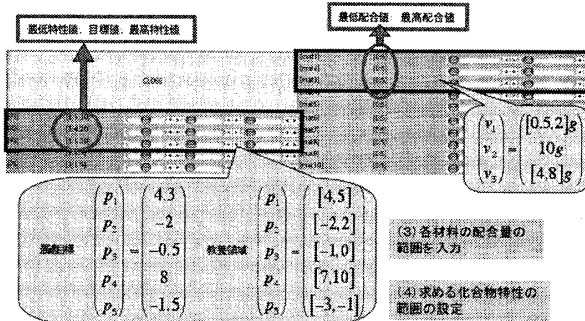
式(1)において、 $A \in R^{m \times n}$ 、 $x, y \in R^n$ 、 $b, d \in R^m$ 、および $c \in R^n$ である。すなわち、線形

Effects of Die-bonding Material Designer System

[†] Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University[‡] Hitachi Chemical Co., Ltd.



(a) 係数行列入力部



(b) 制約条件入力部

図 1 M-Designer's Goal Quest の条件入力部

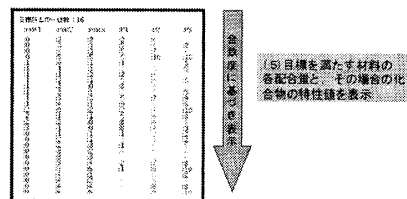


図 2 M-Designer's Goal Quest の計算結果出力

計画問題は条件を非負とし、そのなかで、与えた目標関数が制約条件を満たし、なおかつ最小化される点を見つける問題である。一般に、 A は係数行列、 b および d は右辺ベクトル、 c は費用係数ベクトルと呼ばれる。

4. M-Designer

本項では、3項で説明した弱条件組合せに基づく材料設計推定手法を導入した支援システム M-Designer's Goal Quest の概要を紹介する。本システムは、試料の特性として、弱条件組合せ線形計画問題を示す係数行列、配合後の特性を示す目標特性、各試料の最低使用料と最高使用料および物理的操作の上限値と下限値を入力できる入力部をもつ。また、現実的な材料工学における利用を考慮して、本システムは配合後の特性を示す目標特性について、実験者が許可することができる範囲を入力できるようにしている。これらの条件入力インタフェースを図 1 に示す。具体的な計算結果は、図 2 に示されるように、まず、定義された最適領域 (目標) に近

い配合量の組合せから表示され、次第に実験車が許可することができる範囲内に配合量の組合せを広げて表示する。このとき、他の材料と相対的な比で表示しており、絶対的な量ではない。

5. 議論とまとめ

本論文で提案した弱条件組合せ線形計画法とシステムを用い、アクリルゴムと粒径の異なるシリカを配合する実験を対象に、実際に検証を行った。弱条件組合せ線形計画問題の条件式は具体的に次の通り示される。

以下の式は、2つの特性に対する目標値範囲および各試料に対する拘束条件を表す。

$$P \geq 1MPa$$

$$E \geq 280$$

$$r \leq h$$

$$s_i \leq 8\%$$

一方、特性と配合を表す係数行列と、目標とする特性ベクトル、および配合量を表す配合量ベクトルは以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} P+0.44 \\ E-430 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.17 & 0.15 & 0.013 & 0 & 0 \\ -10 & -24 & -15 & -3.2 & -4.5 & -8.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 & r \\ k_2 & s_1 \\ k_3 & s_2 \\ k_4 & s_3 \\ k_5 & s_4 \\ k_6 & s_5 \end{pmatrix}$$

ただし、 P はピール強度、 E は弾性率、 k_i はスカラー値、 r はアクリルゴムの官能基量、 s_i はシリカを示す。シリカは s_1 から s_5 までそれぞれ、6nm、10-20nm、600nm、1900nm、4200nm の粒径を持つ。 h は与えられた定義を超えない値である。また、係数行列の各行は各々の材料についてのピール強度と弾性率を表す。また、各列は先述のそれぞれの材料を示す。この実験において、提案手法およびシステムを用いた材料設計の検証で、現実の材料工学実験における結果とさほど乖離しない結果が得られた。具体的には、精密な実験結果と 8 割程度重なっておりおおむね良好な精度であることが分かった。

参考文献

[1] 稲田禎一, 松尾徳朗: 「熱硬化系接着フィルムの特性最適化のための多要素材料設計」, 第 59 回ネットワークポリマー講演討論会講演要旨集, pp. 17-20 (2009 年)