

弱条件組合せに基づく半導体ダイボンディングフィルム 材料設計システム

松尾徳朗[†] 稲田禎一[‡]

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

本稿では、半導体ダイボンディングフィルムの開発に特化した材料設計システムについて議論する。従来、材料設計においては、単に材料の配合にとどまらず、複数の工程を伴う物理的操作、および材料の化学変化を考慮する必要があり、それは材料工学の研究者を悩ませている。また、材料の開発においては、研究者の長年の勘によるところが大きい。その一方で、半導体のような開発ペースの早い材料については迅速な研究開発が求められる。本論文では、半導体用の材料設計について、線形計画法の応用とヒューリスティクスに基づいた効果的な材料設計手法と支援システムを提案する。

2. 材料設計

半導体ダイボンディングフィルムは、近年の半導体チップの極薄化に伴い、必要特性が大きく変化してきている。半導体パッケージは外周を樹脂で封止されており、その内部に層構造のシリコンウエハがあり、最下部のソルダーレジストへの配線が施されている。そのシリコンウエハどうしは、ダイボンディングフィルムと呼ばれる接着性フィルムで接着されている。

ダイボンディングに要求される物質特性は、主として次の5つである[1]。まず、(1) 摂氏60度～80度程度において、仮張りとしての接着が可能であり、次に(2) ダイボンディングフィルムにより張り合わせたシリコンウエハを切断する際に、切削方向に押し出された縁(バリ)が生じず、(3) ダイボンディングフィルム張り付けの際に、シリコンウエハが破損せず、(4) 半導体パッケージの配線接続の際のはんだ融解時にダイボンディングフィルムが剥離、変形せず、最後に(5) 稼働中に高温になりがちな半導体の膨張影響に頑健であることが求められる。半導体の生産と稼働についてのみ記載したが、その他に、保存性やタック、弾性率や流動性などの目標特性が求められる。

Die-bonding Material Designer System based on Weak Constraint Combinations

[†] Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

[‡] Hitachi Chemical Co., Ltd.

著者らは数多くの実験の結果、相互に化学反応しない材料の配合と複数の工程に基づく材料設計においては、目標特性は、各々の配合や工程における特性の線形結合、あるいは準線形結合であることを経験的に見いだしている[1]。そのため、半導体ダイボンディングフィルムの材料設計においては、線形計画法などに基づく最適化が有効であることが予想される。しかし、目標関数を唯一つの直線で表したとしても、解が存在しないケースも考えられる。また、現実的な材料工学の分野においては、配合する材料の量に制約がある場合や、目標特性が広い範囲で与えられることが多い。そこで、著者らは新規に弱条件組合せ線形計画法を提案するとともに、解析後の誤差をより少なくするための非線形近似に基づく最適化の2段階を組み合わせた2段階最適化配合設計手法を提案している[2]。本稿ではとりわけ、弱条件組合せ線形計画法に焦点を当て議論する。また、実際に著者らが開発したシステムを紹介する。

3. 弱条件組合せ線形計画法

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、著者らの分析の結果、概ね線形結合で表現できることが明らかとなった。そこで、線形計画法に基づく最適化手法をより材料設計において実用的に利用できる、新規に弱条件組合せ線形計画法を提案する。

標準形を式(1)に示す。変数ベクトル x は材料であり、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)材料の量や、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、式中の x_i は変数ベクトルの i 番目の要素であり、それは閉区間 $[p_i, q_i]$ にて定義される変数である。一方、左辺ベクトル b についても、通常線形計画問題においては定数で定義されるのに対して、材料設計においては、配合された材料の応用可能性や拡張可能性を考慮して、 x と同様にある閉区間で定義される。なお、係数行列 A は、配合前の各材料の特性を示しており、その各要素は、それぞれ配

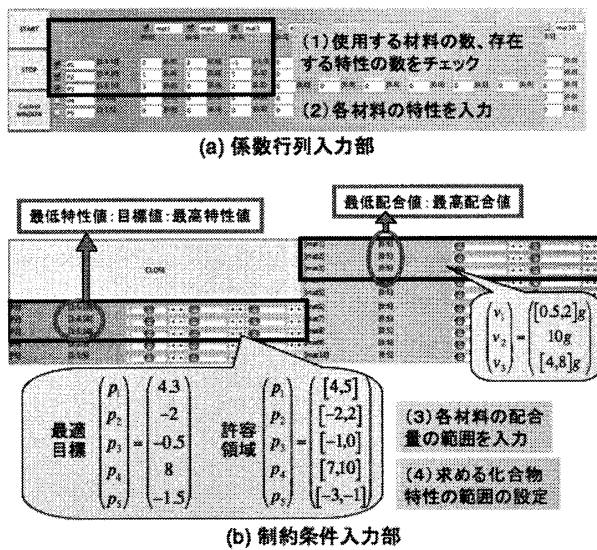


図 1 M-Designer's Goal Quest の条件入力部

合前の材料に応じた特性，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。

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

上式において， $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ， $x, y \in \mathbb{R}^n$ ， $b, d \in \mathbb{R}^m$ ，および $c \in \mathbb{R}^n$ である。すなわち，線形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, 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

これまでに提案した弱条件組合せ線形計画問題の解を材料設計の現場においてより実用的に利用可能となるシステムを構築する。提案システムは 2 つであり，一つ目は M-Designer's Goal Quest と呼ばれるシステムである。あらかじめ与えられた条件（凸領域）に対して，目標に合致しつつ，候補となる領域がより大きくなるよう

な組合せを提示するシステムである。一方，二つ目は，M-Designer's Viewer と呼ばれるシステムである。具体的に第三者に説明する際に用いられるビジュアルな配合の調整を提示するシステムである。いずれもシステムも Java 言語で実装され，Applet として実行可能である。

本稿では特に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，材料の特性として，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，配合量の上限值と下限値および物理的操作の上限值と下限値を入力できる入力部をもつ。図 1 は，システムの条件入力インタフェースを示した図である。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。具体的な計算結果は，まず，定義された最適領域（目標）に近い部分から表示され，次第に許容範囲内に配合量の組合せを広げて表示する。なお，ここでは，他の材料と相対的な比で表しており，絶対的な量ではない。

5. 議論とまとめ

本稿では，線形計画法をベースに，材料設計の現場を考慮し，新規に弱条件組合せ線形計画問題を定義し，手法を提案した。本稿の後半では，材料設計支援システムを提案した。

提案手法とシステムは，目標を満たす材料特定と配合量を提供するだけではなく，次の 3 つの特徴を持つ。（1）与えられた材料特性を表す行列を文献[2]に示される手法により，正則化する手法，（2）2 段階の推定，すなわち線形に基づく計算後の非線形近似による精密化，および（3）1 段階目における推定で，実際の計測値と 8 割程度が合致しており，非線形の計算が困難な場合においても，比較的望ましい計算結果を提供できる点，である。

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.
- [2] 松尾徳朗，稲田禎一，村形晃規，橋浦悠二，齋藤義人，菊池岳史，“半導体ダイボンディングフィルム用材料設計システム”，電気学会第 40 回情報システム研究会，2009.