

## 半導体モデリングの 専門企業における事例紹介

### パラメータ抽出の現場から

青木 均  
Hitoshi Aoki

#### 1 はじめに

モデリングには、モデルそのものを作る技術と、モデルで使われるモデル・パラメータを実デバイスの電気特性測定データから求める技術があることをパート1(p.90～)でお話ししました。後者を「モデル・パラメータ抽出」、または単に「パラメータ抽出」、業界では「パラ抽」と省略している人もいます。

ここでは、パラメータ抽出の難しさと重要性を説明します。

#### 2 パラメータ抽出技術の必要性

##### ■ 2.1 マイクロ波/ミリ波では高精度なモデル・ライブラリを得るためにパラメータ再抽出が必要

モデル・パラメータをゼロから抽出するケースは、日本では少なくなりました。最近ではメーカが自社で半導体を製造しなくなり、海外のウェハ製造メーカ(業界ではファウンダリと呼ぶ)に委託しているからです。また、研究開発用の集積回路チップを半導体ファウンダリから購入する企業/大学/研究機関が増えていきます。購入したチップには、すでにデザイン・キットと呼ばれるライブラリが付属しており、これにモデル・パラメータが入っています。ディスクリート・デバイスなら、簡易的なパラメータがウェブ・サイトで公開されています。

しかし、これらのパラメータは、用途によっては使用に耐えないほど、実デバイスの電気特性とかけ離れている場合があります。とくにRFやマイクロ波/ミリ波回路に使用するトランジスタのパラメータは、その可能性が高いので、必ず実測データとシミュレーションを比較してから使用する必要があります。

最近ではRFやマイクロ波/ミリ波回路に携わる多くの企業や研究機関において、高精度モデル・ライブラリの必要性から、再抽出を行うケースが増えていきます。

もちろん、自社で半導体を製造する際には、シミュレータのライブラリを自社で作成するので、モデル・パラメータをゼロから抽出します。上述のようにRFやマイクロ波/ミリ波ではファウンダリが提供するモデル・ライブラリの精度が悪いので、回路設計ハウスがゼロから作成し直すケースもあります。

##### ■ 2.2 連立方程式を解けば変数を決定できるはずだが、そんなトランジスタ・モデルは存在しない

トランジスタのモデル・パラメータは、実際にEDA(電気回路自動設計)ソフトウェアを使用した集積回路設計において、コンピュータ上で設計した回路特性を試作した回路特性と、高精度に合致させるキー要素です。そのため、そのトランジスタが使用されるすべての領域、すなわち直流電流特性、容量特性、高周波小信号/大信号特性、過渡特性、ノイズ特性、温度特性などを測定して、使用するトランジスタ・モデルのシミュレーションに高精度で合致させる必要があります。

パラメータはモデル式の変数として、また、モデルの等価回路エレメントとして存在します。モデル式は、多くの方程式の集合ともいえます。その中の変数の数が方程式の数と等しく、該当する電気特性の測定データが得られれば、連立方程式を解くことで変数は決定できるはずですが、しかし、そのようなモデルは、トランジスタ・モデルにありません。それでは、どのようにすれば良いのでしょうか。

##### ■ 2.3 全動作領域で高精度にシミュレーションできるモデル・パラメータを抽出する専門企業

先に述べたように、モデル・パラメータには、ほとんどのモデルで、物理的なモデル式の「基本パラメータ」と、2次効果を表す「フィッティング・パラメータ」があります。

基本パラメータは、測定による特性から数学的な手法で、例えば外挿や微分方程式などを使って、抽出ルーチンを開発して求めます。フィッティング・パラメータは、最適化アルゴリズムを使ってシミュレーシ

ン値と測定値を近づけます。

しかし、抽出ルーチン開発、高性能な最適化アルゴリズム開発、また最適化するパラメータの選択方法、流れ、測定手法の開発など、さまざまな高度技術が要求されます。半導体メーカーや回路設計者が行うこともありますが、すべての動作領域で高精度のシミュレーションができるようなモデル・パラメータを得ることは困難です。

こうした問題の解決を専門とする企業を例にとり、実践的なパラメータ抽出現場を紹介したいと思います。

### 3 パラメータ抽出を行う専門会社

私は2002年に「モデリング技術者のための会社」を作りたいと思い、(株)モーデックを仲間とともに設立しました。コンパクト・モデル関連技術で「ワールド・クラスの技術集団」を合い言葉に、約10年間経営とコンサルティング、ソフトウェア研究開発などを行ってきました。現在は業務拡張に伴い、片腕として設立から苦楽を共した冨末政憲氏に経営/運営を任せています。

(株)モーデックは、アナログ(RF/ミリ波)、高速デジタル、パワーなどのエレクトロニクス・マーケットにおいて、測定からシミュレーション・モデル作成、回路検証/解析、納品後のサポートに至るまで、総合的なサービスを提供しています。各専門分野のエキスパート・エンジニアたちが、測定、モデル作成、シミュレーションを行っています。サービス提供によって必要なソフトウェア・ツールは自社開発し、製品としても社内のツールとしても役立っています。

その代表的ソフトウェア製品としては、ハイブリッドSPICEモデル生成システム“X-tractor”、半導体統計モデリング・ソフトウェア“MOSTAT”、デジタルモデリング・ソフトウェア“RODEM”があります。これらは、パラメータ抽出を短期間に、高精度に行うためのツールです。このほかに社内用ツールとして“MoDeCH-SPICE”があり、上記ソフトウェア製品に内蔵しているコンパクトで高機能な自社製シミュレータです。社外では大学などでおもに使用されています。

### 4 パラメータ抽出を行う設備の概要

高品質のモデル・パラメータを生成し、シミュレータのライブラリにデザイン・キットとして搭載するためには、測定機器とパラメータ抽出を半自動で行うソフトウェアが必要です。それらを簡単にご紹介します。

## 4.1 測定機器

写真1はウェハ・プローバで、写真2はラッキングした測定器です。

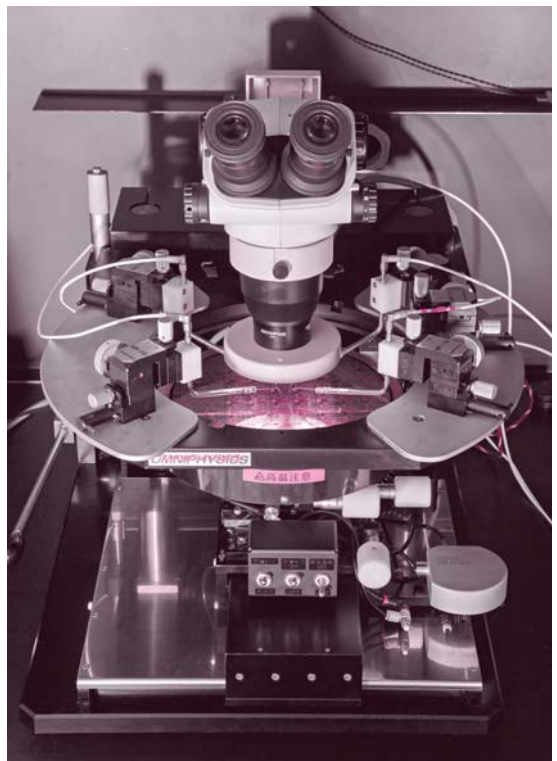
### ● ウェハ・プローバ

通常のウェハ・プローバは、上部からウェハにコンタクトするもので、ほとんどはこれで十分です。モーデックでも通常は同様のウェハ・プローバを使用しています。ウェハにコンタクトする針の部分直流信号測定用、RF/ミリ波信号測定用に付け替えて使用します。写真3はRFプローブを使ってコンタクトしているようすです。

測定対象となるウェハを裏面からコンタクトしたい場合や、液晶パネル、部品内蔵基板の表裏間端子のDC/RF測定などの特殊な場合は、あらゆる方向から針(プローブ)が接触できるプローバを使用しています。これは「全方位プローバ」と呼ばれ、図1はコンタクトの概念図です。

### ● セミコンダクタ・パラメータ・アナライザ

パラメータ抽出用測定器で、最もよく使います。直流多チャネルの電圧-電流測定を行うのが基本ですが、比較的遅いパルス信号印加、測定も可能です。RF測定、容量測定では、デバイスのバイアス源としても使用します。読者の多くの方がすでに使用されて



〈写真1〉ウェハ・プローバ