



若 者

常識のうそ

中 前 幸 治*

大学院を出ても大学に研究の場をみつけることが非常に困難になって来た昨今であるが、幸運にも学生時代からの研究室で、助手としての研究生活をスタートしてからはや1年近くなろうとしている。いままでの6年間の研究生活を通じて、一番学んだことは「常識のうそ」ということである。

修士の卒業研究で、世界でも最新鋭のストロボ走査電子顕微鏡（ストロボ SEM）を扱う機会を得た。このタイプの SEM は、当時、日本では大阪大学の裏研究室に1台あるかぎり、西独や英国の大学、研究室と必死に性能の向上を競っていた（現在では、世界の半導体工業界でその重要性が認識され、世界各国に約30台が稼働中で、もちろん日本の半導体メーカーも LSI や VLSI の故障診断・機能テストに活用している）。SEM の二次電子は試料上の電位によって変調され、その結果、検出信号に強弱の差、すなわち電位コントラストを生じる。この電位コントラストから、試料上の電位情報を得ることができる。また、ビーム径は電子レンズの作用により、サブミクロン程度には容易に絞ることができる。そこで、SEM にストロボ装置（電子ビームをパルス化し、写真撮影の際のストロボのように、ある瞬間にだけ試料を照射する装置）を付加すると、動作中の IC や LSI の素子内部のある瞬間の電位情報を、高分解能で知ることができる。このことから、どんどん内部構造が小さくなっていく LSI や VLSI の動作解析・故障診断の最有力候補として注目されていた。

このストロボ SEM を用いて実際に IC、LSI の故障診断を行うさいの主たる問題点は、

* 中前幸治 (Koji NAKAMAE), 大阪大学, 工学部, 電子ビーム研究施設, 裏研究室, 助手, 工学博士, 電子工学

A) 電子ビーム照射によって素子の特性を変化させないか,

B) 電位情報を知る電位コントラストにどの程度の定量性があるか,

ということであった。修士の卒業研究テーマとして与えられたのは、A に関連することで、素子の動作に与える影響をできるだけ小さくして測定する方法であった。通常、電子ビームの素子に与える影響は、電子の物質中に進入する深さ、すなわち飛程によって評価される。そこで、電子ビームとして、電位を測定する電極には達するが、素子の能動領域にまで進入しないエネルギーのものを持ちいれば、素子に影響を与えることなく観測できることが期待される。このような考え方は、当時としては“常識”で、これを測定の指針としてあげている論文もあった。そこで、まず出発点として、これを実験してみた。その結果、驚いたことに（分ってしまった後では当然であるが、最初はとにかく）、1) 入射電子の“飛程”を素子の能動領域の深さより短くしても素子の特性が変化してしまい、影響が0となるようなしきい値は存在しないこと、2) さらにどんどん入射電子のエネルギーを小さくしていても、微小ではあるがビーム照射の影響が完全には0にならないことが分った。この原因を検討するため、まず、これを行った発想の原点にかえて電子の飛程について再考した。すると、飛程というのは、電子のエネルギーあるいは個数が、たとえば“99%含まれる深さ”で定義されたものであり、飛程を越えた領域にも数こそ少ないが常に電子が進入するのは当然であるということになった。これで、結果1)の現象は説明できるが、2)の現象までは説明できない。そこで、さらに根本の原点にもどり、電子ビームの作用そのものについて考えてみた。つまり、電子ビームを試料に照射

すると、何が生じるかを考えてみた。電子ビームを試料に照射すると、そのエネルギーの大半は電子-正孔対の生成に費やされるが、一部はX線の発生に寄与する。このX線は、なかなか減衰せず試料内部奥深くまで進入する。このX線で、2)の現象が説明できる。このような実験、検討から、電子ビームで、ICやLSIなどを観測するさいには、電子の飛程を考えるだけでは十分でないことが分った。この経験から、「広く信じられていた常識の中にも実際に行ってみるとそうでないものがある」ということを学んだ。貴重な経験であった。

博士課程(後期課程)では、問題点B)、電位コントラストの定量性について取り組んだ。電位コントラストの定量性を決める要因として、局所電界効果がある。局所電界効果とは、二次電子が測定電極の隣の電極電位などに影響されて、その軌道が変化し、検出電流が変化することを意味する。当時の“常識”として、「試料前面に強い引き出し電界を印加し、二次電子を真上に引っ張ってやれば、局所電界効果はなくなる」と研究者の間に信じられていた。しかし、これも先の場合と同じに実際にやってみると、かなり引き出し電界を印加しても、いっこうに局所電界効果に基づく測定誤差は小さくならなかった。これは、つぎのように考えると理解で

きる。引き出し電圧用の電極配置は、試料の物理的大きさから、試料表面の上1mm程度が限度であり、また、それに印加する電圧の大きさも、電子ビームの加速電圧が2KV程度である場合を考えると、1KV以下にする必要がある。よって、引き出し電界としては、せいぜい $1\text{ V}/\mu\text{m}$ である。一方、ICやLSIの配線の幅及びその間隔は $5\mu\text{m}$ 以下になってきており、たとえば、ある電極に5V、その隣が0Vであるとき、電極間の電界はやはり $1\text{ V}/\mu\text{m}$ となる。このようなことから、二次電子引き出し電界を印加しても、さほど局所電界効果は改善されないことになる。これを確かめるために、試料室と試料近傍の電位分布をモデル化し、二次電子の軌道を解析し、検出電流の変化を計算してみた。その結果、上に述べた推測が正しいことを理論的に裏づけることができた。この研究から得た教訓も、再び「常識にはうそがある」ということであった。

以上、述べたように大学院での研究を通じて「こうなるはずだ」と広く信じられていることを、そのまま鵜呑みにしていたのでは独創的な仕事はできないということを肌で感じる事ができた。今後の研究にこの体験を生かしていきたいと思っている。