

ネットワークを利用した高度実践技術教育の推進

～教育研究設備の導入と学生実験への応用～

松下英次*1・宮下大輔*2・秋山正弘*3・百瀬成空*3・中山英俊*4・為末隆弘*5

Working on the High Practical Education of the Technology Using the Network

MATSUSHITA Eiji, MIYASHITA Daisuke, AKIYAMA Masahiro,
MOMOSE Noritaka, NAKAYAMA Hidetoshi and TAMESUE Takahiro

キーワード：ネットワーク，実践技術教育，学生実験，教育研究設備，半導体評価システム

1. はじめに

長野高専では「高度実践技術教育の推進」を目的として平成17年度特別教育研究経費（ネットワークを用いた半導体評価システムの構築）が採択され、新規にX線回折装置，集積回路評価システム，高精度微細形状測定機，真空蒸着装置等を購入，この度設置，整備が完了した。表1に設置場所を示す。なお，これらの機器に関しては企業の方及び教職員を対象に講習会が行われたが，非常に多くの方に参加いただき，関心の高さが伺われた。

筆者らは，学生への教育を主として，より多くの方に機器の有効利用をしていただきたいと考えている。そこで本稿では各機器の用途，仕様について述べる。また，学生実験への応用例について提案する。

2. X線回折装置 (XRD)

リガク社製X線回折装置 MiniFlex/N2Kの外観を図1に示す。本装置は従来のような大型のX線回折装置と異なり，デスクトップサイズでコンパクトなシステムである。また，高い安全性を持つ完全密封のキャビネットに光学系を完全調整してパッケージしている。このため，初心者でも簡単に測定を行なうことができる。また，X線発生装置と連動したイ

表1 各機器の設置場所

装置名	設置場所
X線回折装置	専攻科実験室 (専攻科棟 1F)
集積回路評価システム	
高精度微細形状測定機	
真空蒸着装置	電子デバイス工学実験室 (電気電子工学科棟 1F)

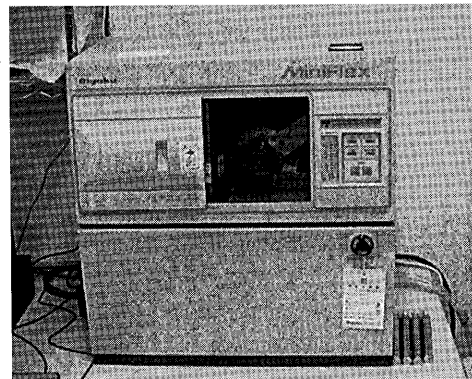


図1 X線回折装置

ンターロック付き防X線カバーの採用により，X線作業主任者の資格取得が不要なため，装置の安全管理が容易である。

本装置の主な仕様は次のとおりである。X線発生装置部の管電圧および電流出力はそれぞれ30kVおよび15mAの固定である。ゴニオメータ部は縦型で2θ測定範囲は+2°～+150°である。X線管はCuを用いている。また，オプションでFe，Cr，CoなどのX線管に交換することができるが，これはメーカーにて交換となる。その他，回転試料台の設置もできる。ソフトウェアでは従来のX線回折装置同様の解析等が行える。

*1 環境都市工学科助手

*2 機械工学科講師

*3 電気電子工学科助手

*4 電子制御工学科助手

*5 電子情報工学科助手

本装置は平成 18 年度より環境都市工学科実験実習 IV の地盤環境実験において「X 線回折試験」として粘土鉱物同定にも用いている。その実験結果の例を図 2(a) (石英(Quartz))、図 2(b) (カオリナイト (Kaolinite)) に示す。これらの結果を同定表を用いて鉱物判定を行う。

その他、本装置では次のものが得られる。ピークの高さ、幅(半値幅)、面積から結晶化度、物質の定量、結晶の粒径、格子定数が求められる。ピーク的位置、パターンから物質の同定、多結晶/単結晶/非晶質の判定が行える。ピークのシフト(左右へのずれ)から混晶(二種以上の材料が混ざり合ってきた結晶)の組成比が求められる。

以上のように多くの分野において本装置は利用が可能であり、今後、教育や研究に多くの利用を期待する。

3. 集積回路(IC)評価システム

IC 評価システムは、集積回路上に作られたトランジスタの特性、抵抗の特性、コンデンサの特性、ダイオードの特性などの素子特性をはじめ、それらを組み合わせた集積回路の特性を評価することができる。図 3 に集積回路評価システムの外観を示す。左側がハイソル社製マニュアルプローバ HMP-410 型、右側がケースレイ社製半導体パラメータアナライザ 4200-SCS である。

マニュアルプローバの最大印加可能電圧は 200 V、移動分解能は 0.02 mm (x, y)、0.01 mm (z) である。付属の実態顕微鏡の倍率は 22~180 倍となる。対応ウェハ径は、チップ状の物から、直径 4 inch の円形のサンプルまで測定できる。測定に用いるプローブ径は 1.2 μm である。

4200-SCS の最大印可電圧は 200 V、最小測定電流は 10 fA である。測定チャンネル数は SMU 3 ch + GND 1 ch となる。

本装置は、平成 18 年度より電気電子工学科電気電子工学実験 V において、「電子デバイス実験」と呼ばれる「電子デバイス設計、電子デバイス製作プロセス、電子デバイス評価」を体験する実験の「電子デバイス評価」の中に組み込まれている。

4. 高精度微細形状測定機(サーフコーダ)

小坂研究所製高精度微細形状測定機 ET3000 の外観を図 4 に示す。高精度微細形状測定機は、触針で試料表面を走査することにより、試料表面の凹凸状態を測定する装置であり、試料の微細形状や表面粗さ測定、段差計測による膜厚測定等が可能であるた

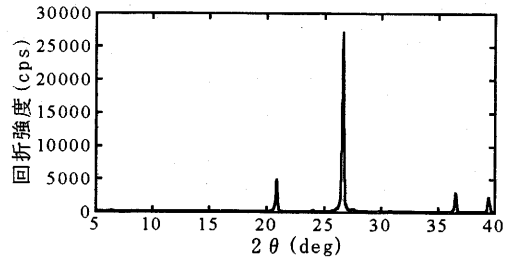


図 2(a) 石英の X 線回折結果

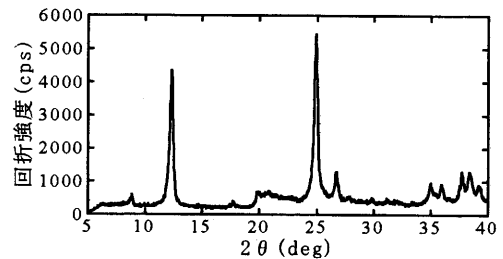


図 2(b) カオリナイトの X 線回折結果

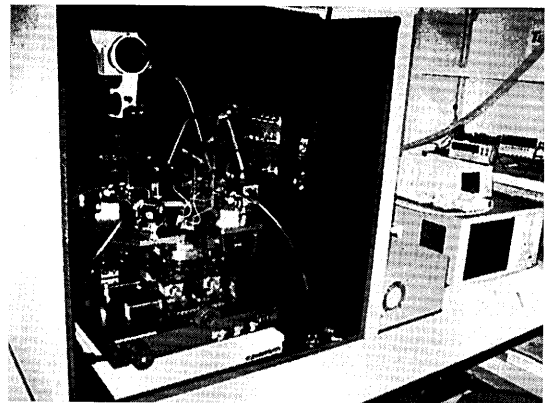


図 3 集積回路評価システム

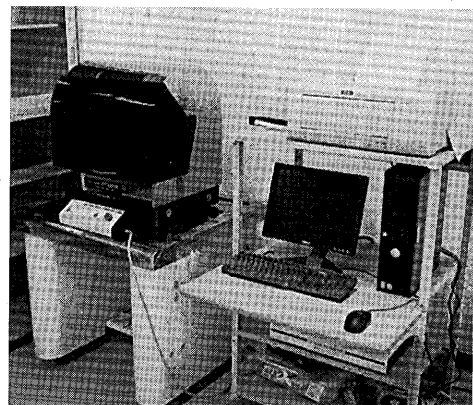


図 4 高精度微細形状測定機

め、金属表面の凹凸分析、薄膜の膜厚測定等を始めとして、広範な研究分野での利用が期待される。

本測定機の構成は、測定機本体、除振台、パソコン（粗さ解析システム）、CCDカメラ（ビデオキャプチャ）等から成る。

本測定機は、 z 軸（厚さ方向）分解能がメーカー仕様で 0.5 nm と非常に高精度であることが特徴である。ただし、設置環境による実用上の分解能は 5 nm 程度と考えられる。測定原理が触針式のため、データの信頼性が高いことが特徴であるが、試料が軟らかい場合は表面を傷付ける可能性がある。触針は先端径 2 μm 、先端角 60°のダイヤモンド針を使用しており、測定力は 20 μN から 500 μN までの範囲で調整できる。試料サイズは 160 mm \times 160 mm \times 50 mm 以下を目安とし、 z 軸最大測定範囲は $\pm 330 \mu\text{m}$ 、 x 軸最大測定範囲は 100 mm である。

測定実行により、 x 軸方向に自動走査され、 $x-z$ の二次元データが得られる。付属の粗さ解析システムにより、試料表面の傾斜補正、表面粗さ分析、段差測定などが簡単に行える。測定データはテキストファイルとして出力でき、各自でデータ分析することも可能である。CCDカメラにより 100 倍程度の表面観察が可能であり、触針部付近の映像を静止画または動画として保存できる。

本測定機は、平成 18 年度より電気電子工学科電気電子工学実験 V において、「電子デバイス実験」と呼ばれる IC 製作プロセスを体験するテーマの中に組み込まれ、薄膜の膜厚測定を行う。教育や研究等に広く利用可能であり、多くの利用を期待する。

5. 高温加熱装置付真空蒸着装置

サンヨー電子社製抵抗加熱型真空蒸着装置 SVC-7000 の外観を図 5 に示す。IC プロセスにおいては、蒸着は Al の電極層を堆積するために用いられる。しかしながら蒸着源（ボート等）を取り替えることによって、さまざまな物質を蒸着することが可能となり、材料系研究での蒸着の用途は多岐に渡る。

本装置の真空排気は、油回転ポンプと油拡散ポンプの 2 基を用いて行う。蒸着室（ベルジャー）が小さいため、付属の液体窒素トラップを利用することなく、およそ 30 分で 10^{-4} Pa 台までの真空排気が可能である。真空度の測定用に、ピラニ真空計および熱陰極型電離真空計を備えている。また、ほぼすべての排気操作バルブに電磁弁方式のスイッチを採用しているため、学生等の誤操作を防ぐことが可能となっている。

蒸着用の電極は 2 組用意されているので、ひとつの蒸着源では堆積できない膜厚にも対応でき、あるいは 2 種類の物質を同時に蒸着することも可能であ

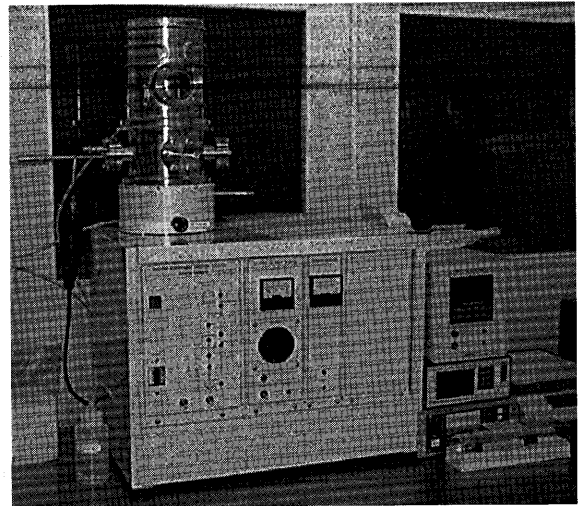


図 5 真空蒸着装置

る。また、水晶振動式膜厚モニタも取り付けため、シャッターとの併用により、膜厚のモニタリングおよび調整が可能となるが、蒸着物質や基板の設置場所等によって膜厚が変わってくるため、微調整と経験が要される。

さらに、基板を 600°C まで加熱できる装置を搭載しており、薄膜堆積と高温加熱処理が真空中にて同時に行うことが可能である。

先述の通り、基本的には本装置は IC プロセスのひとつ（Al 電極の堆積）としての使い方が想定される。しかしながら 2 源同時蒸着や高温加熱装置を併用することで、化合物半導体薄膜や薄膜デバイスの作製へも応用が期待される。

本装置は学生実験・卒業研究等の教育的利用はもとより、教員研究・外部機関の使用も制限しない。定期的にはまたは要望に応じて講習、メンテナンス等の対応を行っていく予定である。平成 18 年度より電気電子工学科電気電子工学実験 V において、「電子デバイス実験」と呼ばれる IC 製作プロセスを体験させるテーマの中で、本装置を用いた Al 電極層の蒸着が組み込まれている。

6. ネットワーク

ネットワークを介しての測定とモニタリングを目的として、前章までに記述した各測定・評価装置を学内ネットワークに接続した。Symantec 社の PC Anywhere 11.5 のホスト機能を全ての測定・評価装置に、リモート機能を情報教育センター第二端末室の PC および各専門学科に配置されたノート PC にインストールした。上記の機能を用いることにより、測定・評価装置が設置されている場所から離れ

た端末室や教室等から測定・評価装置のリモートコントロールが可能となった。また、測定結果データをリモート PC に転送し、データの収集・整形等もリモート PC で行うことができるようになった。さらに、複数のリモートユーザーが単一のホストに接続して、測定・評価装置の画面上の動作をリモート PC 上に同時に表示することができるため、教員が操作するところを学生に見せて説明したり、学生自身に操作をさせて指導することも容易に行えるようになった。

また、マルチユーザー・マルチタスク OS の Linux ホスト上で動作するデバイスシミュレータ等のアプリケーションを Windows 上から複数のユーザーで同時に使用するという目的で、アールワークス社の X 端末エミュレータ ASTEC-X についても情報

教育センター第二端末室の PC および各専門学科に配置されているノート PC にインストールした。これにより、複数の学生が Linux ホストのアプリケーションを端末室や教室等から容易に起動して動作させることが可能となった。学外からのアクセスについては、研究目的での外部機関の使用という観点からぜひ実現したいと考えるが、今後の検討課題としたい。

7. おわりに

平成 17 年度特別教育研究経費により教育研究設備を導入し、学生実験への応用について検討を行った。いずれの機器においても高度実践技術教育に貢献が可能であると考えられる。今後は、実践例を元にさらなる改善に努めていきたい。