

#### IV. 2. 5 機能性薄膜のデバイス応用とデバイス製造・評価装置の開発

研究リーダー 友景 肇 (福岡大学 教授)

##### (1) 5年間の総括

デバイス実装グループは、他研究グループで開発される新光・電子デバイスを評価し実装するための技術開発および薄膜材料の作製・評価を行うことを目的としてスタートした。ダイヤモンド・ライクカーボン (DLC) は、ダイヤモンド、フラーレン、カーボンナノチューブ等と同じ炭素系材料で、ダイヤモンドに類似した物理特性を示し、従来機械的な保護膜に利用されてきた。本研究グループでは、薄膜材料として DLC を選び、DLC を用いた電界放出表示素子の開発及び DLC の電極材料への応用を目指した。また、チタン酸バリウム (BTO) 薄膜を低温で安価に成長するためにゾル-ゲル法での成膜技術の確立も目指した。

デバイス実装する際に必要となるテストングにプローブ開発、非接触による微細電極の検査装置開発、微細ハンダボール移載技術確立、LCD 用レーザーマーカの開発を行った。これらの研究の流れをまとめて次頁に図示するとともに、各テーマに関して以下にまとめる。

DLC 薄膜のデバイス応用に関しては、福岡大学、九州ミツミ (株)、安川電機 (株)、凸版印刷 (株)、九州松下電器 (株) が共同で研究を行った。電子デバイス応用に不可欠となる導電性を有する DLC 薄膜を独自に開発したプラズマ CVD 装置を用いて作製した。導電性を高めるために窒素ガスメタンガスに混入し、光学的バンドギャップを有するアモルファス状態で抵抗率を  $10^{-2} \Omega \text{cm}$  のオーダーまで下げることができた。DLC 表面からの電子放出機構をナノスケールで評価する STM/CITS 装置、マイクロスケールで評価する SPFEC 装置をフェーズ I で開発し、電子放出機構を調べた。フェーズ II では、電界放出特性向上のために、酸素やフッ素プラズマで表面処理を行い、ガラス基板上に多層成膜する技術等を確立し、平面型 DLC のプロトタイプを作製した。

DLC の FED 開発には、陰極での電界分布の計算、電界放出電流のシミュレーションが必要と考え、九州大学で理論計算とともに従来構造が明らかになっているシリコンを用いて、電界放出陰極作製を行った。MOS 構造のエミッタの作製を行い、低バイアスで動作する電界放出素子の試作を行った。フェーズ II の最終年度は、DLC エミッタ作製を共同で開発した。

BTO 薄膜の作製に関する研究は、福岡県工業技術センターで主に行った。高濃度ゾル-ゲル法を用い  $750^{\circ}\text{C}$  で焼成し  $1 \text{ kHz}$  で  $130 \sim 140$  の比誘電率と  $2 \sim 5\%$  の誘電損失の BTO 膜が形成できた。

製造方法に関して特許を 2 件申請するとともに、フェーズ II まで研究を継続した。

IC のウェハテストまたは液晶表示 (LCD) のパネルテストには、通常タングステン針を多数配列したプローブカードが用いられているが、IC の電極パッド数の増加と電極パッドの狭ピッチ化に伴いタングステン針のプローブカード作製が困難になりつつある。本研究は、リソグラフィとエッチング手法を用いて、バッチ処理でプローブカードを作製するもので、 $60 \mu\text{m}$  ピッチが可能である。接触時の針圧がタングステン針に比べて小さいため、超多ピンの LCD パネルなどへの応用がきたいできる。フェー

ズ I で特許申請後、研究開発を終え、現在商品化されている。本研究開発はフェーズ I で研究開発、特許申請した後商品化の目処が立ったためフェーズ II には進まず、研究を終了した。

半田ボール電極の実装技術開発を上野精機（株）が主に担当した。100 $\mu\text{m}$  径の半田ボールを用いた電極形成技術を確立し、ボール移載方法に関する特許を申請した。目標としていた 100 $\mu\text{m}$  径ボール電極の形成と装置化が可能となったため、フェーズ I で開発を終了した。

微細な TAB 電極の導通試験には、通常金属電極を接触して行われるが、電極幅が小さく損傷を受けやすいため、電極数の増加とともに検査が困難になりつつある。武田産業（株）が主に、ラジオ周波数を電極端から入力し、小型アンテナを用いて非接触にオープン・ショートを試験する装置の開発を行った。フェーズ I で目標とする 0.1mm ピッチの TAB 検査に目処がたったため、フェーズ II では工業技術センターに研究を引き継ぎ、微細な渦電流探傷用プローブを走査して 2 次元で断線箇所を検知する装置の開発を行った。この方式でも 0.1mm 幅配線の断線検知が可能となった。

LCD 用レーザーマーカの開発は、主に安川電機（株）で行った。液晶パネルの大型化、製造プロセスの複雑化に伴い、LCD パネルを製作の初期段階から管理する必要があり、そのために通常レジストを用いたリソグラフィ工程でバーコード等がマーキングされる。本開発は、レジストなしに LCD のカラーフィルターに直接半導体レーザーを照射して 2 次元のコードをマーキングする装置の開発を目指した。波長 808nm の半導体レーザーで 80 $\mu\text{m}$  径の 2 次元コード印刷が実現でき、フェーズ I で、その開発を終了した。商品化のために系列会社への技術移管を行い、フェーズ II では、フェーズ I で作製した半導体レーザー照射機構を用いて、DLC 表面の微細加工を行った。その結果、マスクレスに DLC が微細加工する技術が確立でき、また表面粗さを増すことによって電子放出陰極形成の技術を確立した。レーザーマーカと電子放出陰極形成に関しては、特許を申請した。

クライオスタットにも搭載可能な小型ナノステージの開発を、産総研で行った。これは、3つの金属球でステージを支え、 piezo 素子で移動させる構造で、2次元で自由な方向への移動が可能である。フェーズ II で、本研究グループに入り、高精度化と実用化の研究を継続した。

## (2) 今後の取り組み

DLC 薄膜を用いた FED 開発のための技術確立を目指し、ガラス基板上に導電性 DLC 膜を堆積して、平面型の FED プロトタイプを作製し、発光を確認した。導電性 DLC 作製手法、素子構造、多層 DLC 薄膜作製方法などで合計 11 件の特許を申請した。導電性 DLC 薄膜は、電極や抵抗層への応用も考えられ、フェーズⅢでは、企業において電子デバイス応用への研究を行う予定である。

BTO 薄膜は、低温成長での基礎研究を終了し、フェーズⅢではミリ波導波路への応用を目指した研究を行っている。

パラレルプローブは武田産業（株）で技術開発を終え、商品化されている。半田ボール 技術は、上野精機（株）と特許を出願し、現在文部科学省の知的クラスター創成事業の「SiP モジュール設計技術開発」に引き継がれている。安川電機（株）が中心となって開発した LCD レーザーマーカは、現在開発を終え、商品化のため系列会社への技術移管を行った。また、産総研が開発を行ったナノステージは、開発を終了し商品化のための市場調査を行った。フェーズⅢでは、再現性などを改善しながら、クライオスタット中の搭載し、紫外・X線光電子ナノプローブ顕微鏡への応用を目指す。

デバイス実装グループ全体では、26 件の特許を申請した。