

近年、異種材料基板をプラズマ照射による表面活性化により低温・低圧下で直接接合する技術が活発に研究されています。特に、次世代半導体の分野では後工程をはじめその重要性が増していると共に、次世代移動媒体向けの新デバイス向け材料創生としても強く期待されています。2024年9月17日に行われた本シンポジウムでは、プラズマによる表面活性化接合の原理から接合用のプラズマ源、さらに応用技術まで俯瞰できる内容のシンポジウムになるよう、第一線で活躍されている学界からの研究者をお呼びすると共に、今後の日本の技術発展とプレゼンス発揮のため、理解とヒントが得られる機会を目指しました。

最初のセッションでは、産総研の高橋健司先生より、「プラズマ表面活性化による基板接合技術の動向」のタイトルでご講演いただきました。イメージセンサから実用化が進んだ基板接合技術は急速に技術発展し、現在は NAND メモリに応用され、今後は微細化・高精度化の上 BSPDN 分野等での応用と市場形成が見込まれていることを報告頂きました。またプラズマは接合に欠かせない要素になっており、ウエハに優しく接合効果の大きい技術として認識されている旨、ご説明頂きました。

次に、東京大学(明星大学)の須賀唯知先生より、「表面活性化接合のメカニズム」のタイトルでご講演いただきました。Si-Si ボンディングと glass-glass ボンディングは接合原理が同じであること(fusion ボンディング)、親水化接合と SAB のプラズマ接合は原理が異なり前者は OH 結合を介するもので後者は真空中で表面酸化膜を取るプロセスであることをご説明頂きました。またプラズマ親水化接合については、イオン等の衝撃で(水分子の)ナノリザーバーの形成が促進され、低温での接合を実現可能なことについてご説明頂きました。さらには今後の技術分野で応用される窒素や水素添加プラズマを用いた接合技術の紹介まで多岐にわたりご報告頂きました。

名古屋大学の秦誠一先生からは、「大口径基板接合に向けた高速原子ビーム源」のタイトルで大口径基板の接合用に開発されました Fast atomic beam(FAB)源についてご説明頂きました。従来機で存在していました炭素不純物放出の課題は、PIC シミュレーション結果よりカーボン内壁への Ar イオン衝撃が原因であり、外部磁場源を FAB に搭載することで当効果を抑制し、所望の炭素不純物量及びプラズマ処理性能(酸化膜除去)が得られる装置を実現されました。

大阪大学の竹中弘祐先生からは、「大気圧プラズマジェットによる異種基板の直接接合」のタイトルで自動車・航空機産業で活用が見込まれる金属と有機材料(樹脂材料)の接合技術についてご説明頂きました。特徴の異なる両材料を接合するために、有機材料及び金属材料表面の官能基制御(金属は酸化被膜制御)が重要なファクターとなることをご説明頂きました。また効率的な接合実現のための高周波(高密度)大気圧プラズマジェット生成装置についてもご紹介頂きつつ、表面分析結果や接合結果を元に接合原理の理解を深めさせて頂きました。

大阪公立大学の梁剣波先生からは、「パワーデバイスの接合技術」のタイトルで、ダイヤモンド基板と Si 及び SiC 材料の接合技術、及びそれら材料上に GaN-HEMT デバイスを形成された成果について、ご報告いただきました。断面 TEM 像から、接合界面ではアモルファスの中間層形成が進み、強固な接合が実現されていることを示されました。オーミック形成に必要な 1000°C 程度の高温環境下でも接合力が維持可能であると共に、パワー半導体で課題の放熱性が改善することをご報告頂きました。

東京大学の高桑聖仁先生からは、「フレキシブルエレクトロニクスのための柔軟実装技術」のタイトルで、薄い導電性フィルム材料の接合技術についてご紹介頂きました。従来の接着層挿入による手段で課題であった材料の柔軟性に対して、水蒸気プラズマ(OHラジカル)を用いた金電極間の常温接合技術を開発し高柔軟性の導電性フィルム材料を実現されました。また積層型フレキシブルデバイスに向けたポリマーと金のハイブリッド接合の

基盤技術も確立し、機械的耐久性を有する超薄膜の光式脈波センサーを実現された結果を報告頂きました。

東北大学の日暮栄治先生からは、「表面活性化接合のフォトニクスデバイスへの展開」のタイトルで、ヘテロジニアス集積を実現するフォトニクス材料の低温接合技術についてご説明頂きました。化合物半導体レーザーの GaAs と InP の Fusion 接合等、温度を上げられない異種材料におけるプラズマ活性化接合の有効性を示して頂きましたと共に、遠赤外線 Ge BIB 型検出器創成のための Ge-Ge 接合、高出力(高放熱性)半導体レーザーのための GaAs-SiC 接合、三次元撮像デバイスの Au-Au 配線間の接合等の最新の応用事例について、断面 TEM, XPS, TDS 等の手段で現象解明された結果を交え紹介いただきました。

口頭セッションに引き続き、招待講演の先生方に再度登壇頂き、谷出 (SCREEN) 司会の下、パネルディスカッションを開催しました。長年、接合分野に注力されています須賀先生、高橋さま、日暮先生から、なぜ半導体接合分野の分野で海外 EVG 等にシェアが奪われているかをご説明頂き、商品化までの動きの速さ、特許戦略等が今後のシェア獲得のポイントであることを指摘頂きました。また Si 基板以外にも多くの接合材料候補が想定されており、新規材料分野で日本の市場進出の可能性が十分あることを指摘いただきました。接合に作用するプラズマ成分については、秦先生よりご意見いただき、ターゲット毎に研究レベルで深い理解が求められる旨コメント頂きました。次世代を担います梁先生、竹中先生、高桑先生からは、今後の夢を語って頂き、引続き現在のご研究分野の更なる発展に貢献されていくと共に、新規分野の開拓として半導体のみならず、ライフサイエンス等の分野への活用も今後狙っていききたい旨、お話頂きました。本シンポジウムをきっかけとして、次世代の研究者、エンジニアの方々が接合分野で新たなシード技術を打ち出して行くきっかけとなることを願っています。

謝辞

ご多忙の中、ご講演を頂いた講師の方々、最後まで会場ならびにオンラインで聴講頂いた参加者の方々に、この場をお借りして感謝を申し上げます。また、本シンポジウム企画を御支援頂きました田中宏昌先生(名古屋大学)、座長を務めて頂いた石川健治先生(名古屋大学)および平松亮さま(ウエスタンデジタル)にも感謝申し上げます。また、準備の段階からご助言を頂いた辻 享志様(産総研)、鎌滝 晋礼先生(九州大学) 及びプラズマエレクトロニクス分科会幹事の先生方に感謝申し上げます。