

株式会社 株式会社三友製作所

認定テーマ名：吸引プラズマによる半導体故障解析用試料作製装置の開発・事業化

1. 認定事業の現況

・背景

高性能・高集積化が日々進んでいる半導体デバイスの開発においては、デバイスの故障解析工程（図1参照）が開発上のボトルネックとなっている。

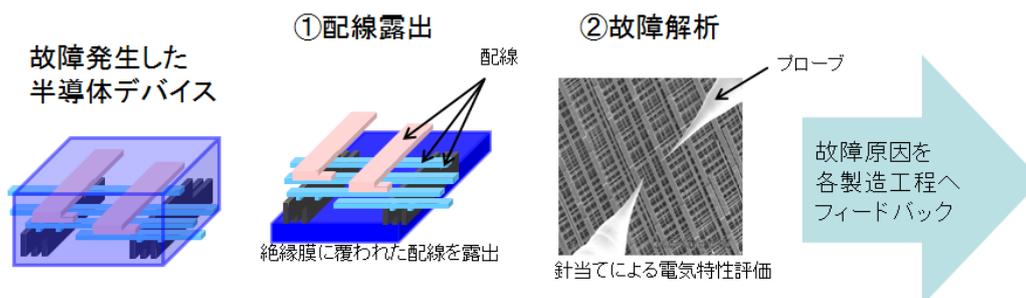


図1 半導体故障解析の流れ

従来の他社方式による半導体の故障解析用試料作製装置では、図2に示すとおり、機械・化学研磨(CMP)にて荒削りをした後、仕上げに集束イオンビーム (Focused Ion Beam : FIB) にて配線を露出させている。FIBは加工面に対して垂直かつ一様にイオンビームを基板に照射するため、各点の加工深さは一定となる。すなわち加工面に凹凸がある場合、同部位は加工後も凹凸が残るため、CMPの加工痕がFIB加工の仕上げに悪影響を及ぼすという課題があった。また、FIBはビーム径が10ナノメートルと微細であるため平方ミリメートル単位の面積がある半導体デバイスの深堀りには適していないという課題もあった。更にFIBは非常に高額な装置であるため、半導体メーカーには代替となる方法の開発に対するニーズがあった。

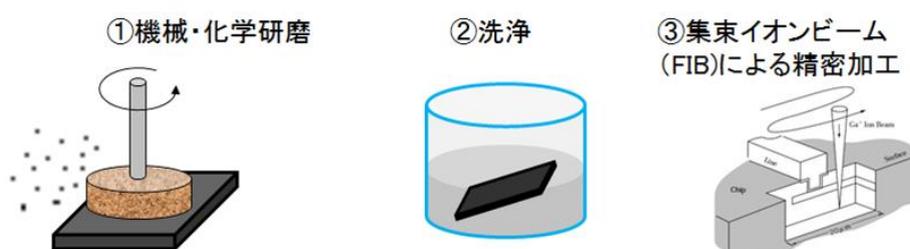


図2 従来の配線露出の流れ

・解決策として開発した従来の他社方式の代替方法

従来の他社方式の代替として、プラズマエッチングによる故障解析用試料作製装置を開発した。プラズマを活用することにより、従来方式と比較して以下の3つの優位性を得ることができた。

優位性1：多様な選択の幅の提供

プラズマは多量のイオンやラジカルなどの反応性に富んだ化学種を発生するが、どのガスのプラズマがどの材料と反応しやすいかは、ガスとエッチング対象の材料の組み

合わせごとに異なる。従って、プラズマ化するガスを適切に選択することにより、特定の材料のみをエッチングさせることが可能となる。

優位性 2 : 安全で比較的小さい環境への負荷の実現

同じ化学反応を利用する湿式のエッチングや CMP を利用する従来の加工法と比較し、プラズマエッチングは気相反応を利用したドライプロセスであるため、粉塵や薬剤の除去に必要な洗浄工程を必要としないクリーンな加工法であり、また真空での処理であるためエッチングに必要なガスの量も比較的少量で済むことから、安全で環境負荷が小さい。

優位性 3 : 高速加工の実現

FIB 加工と比較した場合、広い面積に多量のイオンやラジカルを照射することができるため、高速での加工が可能となる。

これらの優位性を活かし、比較的安価な価格での提供が可能な装置を開発した。

・本事業で開発した技術

本事業において開発したプラズマエッチング方式による半導体故障解析用試料作製装置においては吸引プラズマ手法を採用した。この点が最大の新規性となる。

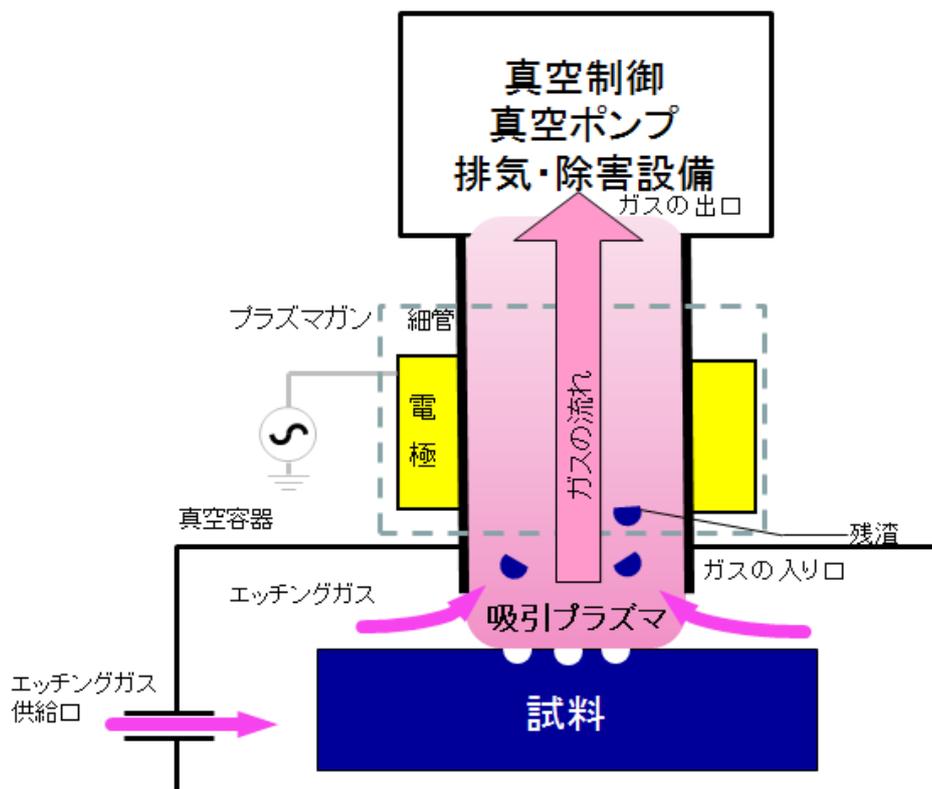


図 3 吸引プラズマの原理及び構造

真空容器内にエッチングガス（プラズマの原料となるガス）を導入し、プラズマガンの細管（内径 0.5～4.0 ミリメートル）内にエッチングガスを吸引しながら、細管を囲んだ電極に高周波電圧を印加しプラズマを発生させると、プラズマの一部はガスの流れに逆行してガスの入り口側にも発生する。これは吸引プラズマと呼ぶ。逆行するプラズマとガスの入り口に流入するエッチングガスとのバランスにより、この時にプラズマの径は細管の内径と同じ

0.5～4.0 ミリメートルに絞ることができる。吸引プラズマが発生しているガスの入り口に流入する室温のエッチングガスは、エッチングで発生する残渣をガスの出口に輸送し、エッチング面を冷却する役割も果たし配線への熱ダメージを緩和する。ガスの出口に高温のプラズマを噴出する従来の方式では、エッチング残渣や熱による配線へのダメージが理由で半導体デバイスの配線露出への適用が困難であったが、吸引プラズマが持つこれらの特性を利用することで、半導体デバイスの配線露出への適用が実現した。

・開発した技術の優位性

本事業を通して開発した技術は検証の結果は以下の4つの点で優位性が確認された。この優位性が本事業開始前からその概要は確認できていたが、本事業での開発フェーズを通じて実施した実験を通してより精緻に検証を行うことができた。

(1) 加工速度

半導体故障解析用試料作製装置での基板（3600×3600×100 マイクロメートル）の加工時間を比較すると、FIB では40時間を要するが、吸引プラズマを活用した方法では1時間での加工を達成し、本技術の方が約40倍程度の高速での加工が可能であることが確認できた。

(2) 局所性

加工領域面は細管内径程度に絞れており、吸引プラズマは局所加工に優れていることが確認できた。また、断面図より加工領域の中央部は比較的平坦となっていることが確認できた。（図4 Si加工面の深さ分布 及びABに沿った断面図 参照）

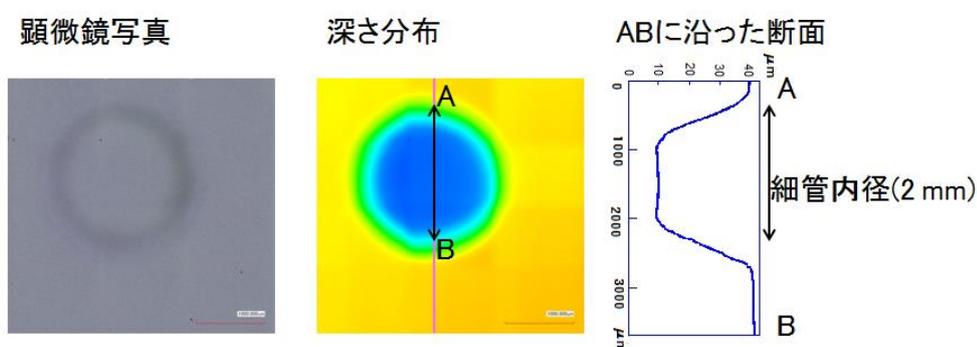


図4 Si加工面の深さ分布 及びABに沿った断面図

(3) 低残渣可能の実現

吸引プラズマでは、エッチングガスを吸引する際に残渣も吸引されるため、低残渣な加工が可能である。

(4) 配線ダメージ及び配線の変形の回避

吸引プラズマでは加工箇所室温のエッチングガスが吸引され空冷されるため、配線に傷が付かず、また、配線の変形を避けることができ、ダメージを与えないことが確認できた。

・事業化について

本事業で目指してきた技術要素については概ね確立できた。これらの技術に価値を見出していただけの事業者へ訴求を続けていたところ、複数の事業者より引き合いを得た。そ

の後、電子部品メーカー向けの検証用装置の一部モジュールの受注を得て売上を計上することができた。

2. 今後の展望（見通し）

本モジュールの納品後、同モジュールの有用性を納入事業者側で検証し、その効果を認められた場合は、検証用装置一式としての受注の獲得につながる事となる。また、大学の研究施設からの引き合いもあり、現在、入札の準備を進めている。今後は、半導体故障解析用試料作製装置としての受注も目指していくこととしている。

3. 認定を目指した経緯

コア企業である株式会社三友製作所は、電子顕微鏡関連の自社製品である故障解析装置（フローバ）を半導体メーカーに納めてきたが、その過程で、迅速・簡便に半導体故障解析用試料作製を行うことができる装置の需要を確認した。現状の故障解析用試料作製では一般的に2億円以上の設備投資と40時間以上の解析時間を要するため、高機能・高集積化が日々進んでいる半導体デバイスの開発において、デバイスの故障解析が開発工程でのボトルネックとなっていたことがこの背景にある。

当社は、これまで製造してきた走査型電子顕微鏡試料用プラズマクリーナーに用いているプラズマに着目して研究・開発を進め、その成果としてプラズマエッチングによる半導体故障解析用試料作製装置の開発に成功し、先述の半導体メーカーのニーズに応える目途が立ったため事業化を目指すこととした。

4. 利用した中小機構の支援策

認定申請時の事業計画作成支援に始まり、認定後の事業化進捗状況確認などを通じた円滑な開発・事業化に向けた支援を実施してきた。また、2度（合計5回）にわたり、特許戦略に精通した専門家による支援を受けた。特許戦略に関する専門家による支援は以下のとおりである。

平成27年度の支援では、研究開発上の課題解決に際し、大学、公的研究機関、事業者などと共同で試作開発に取り組む中で、相互の秘密保持、それぞれの機関が持つノウハウの開示などの点での制約が知的財産保護の観点からの課題となっていた。これを解決するために適切な機密保持契約を締結することにより、相互の技術情報開示を実現し開発を促進することを目指して支援を行った。

平成30年度の支援では、発注者の要求仕様の中で、特許侵害の有無について把握する方法及び、顧客が要求する製品品質を満たすために当社が顧客に仕様を提案する場合の、当社の特許侵害回避方法について支援を受け、今後の事業遂行上に必要な特許戦略上の考え方のアドバイスを行った。

また、中小機構が発行している「中小企業NEWS」における平成30年新春座談会へは当社代表取締役も出席し、「第4次産業革命で生産性向上」というテーマで当社の事例の紹介する機会となった。

5. 企業概要

事業者名	株式会社三友製作所		
本社所在地	茨城県常陸太田市馬場町 457		
ホームページアドレス	http://www.sunyou-ss.co.jp/		
設立年月	昭和 33 年 2 月 15 日		
資本金	4,500 千円	従業員数	210 名

※平成 31 年 4 月 30 日現在

6. 認定事業の概要

テーマ名	吸引プラズマによる半導体故障解析用試料作製装置の開発・事業化
テーマの概要	<p>高機能・高集積化が日々進んでいる半導体のデバイス開発において、デバイスの故障解析用試料作製には一般的に 2 億円以上の装置コストと 40 時間以上の時間を必要とする。これは半導体メーカーにとって大きな負担となっており、迅速かつ効率の良い半導体開発・製造のために、装置の低価格化、解析の短時間化が求められている。</p> <p>コア企業は、同社が持つ走査型電子顕微鏡資料用プラズマクリーナー技術を発展させ、吸引プラズマを利用した半導体の故障解析用試料作製装置の試作に成功し、評価・検証を進める中で、半導体デバイスの加工精度・選択性・速度に優れ、安価に提供できる装置の製品化、事業化の見通しを得るに至った。</p> <p>主な販売先は国内並びに台湾、韓国を中心とした大手半導体メーカーで、開発部門、製造ライン向け市場がターゲットとなり、既存装置の置き換え、追加需要の取り込みを目指して本事業に取り組むこととした。</p>
認定期間	平成 26 年 10 月 15 日～令和元年 10 月 14 日