平成25年度ものづくり中小企業連携支援事業

(戦略的基盤技術高度化支援事業)

「S i C基板向け大気圧プラズマ熱処理装置の 開発と非接触基板温度測定装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 中 国 経 済 産 業 局

委託先 公益財団法人 ひろしま産業振興機構

目 次

1-1.研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1. 研究開発の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1-1-2.研究の目的及び目標 ······	2
1-2.研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
1-2-1. 研究組織・管理体制	4
1-2-2. 他からの指導・協力者	4
1-3. 成果の概要······	5
1-4. 当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7

第2章 本論

【1】大気圧プラズマ熱処理装置の開発

【1-1】プラズマトーチの試作	9
1-1-1. マルチプラズマトーチの試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	9
【1-2】プラズマ電源の試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
1-2-1. マルチプラズマトーチ用電源の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
【1-3】モーションステージの試作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
1-3-1.マルチプラズマトーチ用フィンガーの試作 ・・・・・・・・・・・・・	11
【1-4】ステージ駆動装置の試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
1-4-1.ウエハ回転モジュールの試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
【1-5】まとめ・・・・・・	13

【2】非接触基板温度測定装置の開発

[2-1]	レーザー光干渉温度測定装置の試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
[2-2]	温度測定電子回路と温度シミュレーションソフトの開発 ・・・・・	15
[2-3]	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	17

【3】装置の組み立てと評価

3 -1	大気圧プラズマ熱処理装置と非接触基板温度測定装置の組み立て	
	及び試運転・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	18

3-1-1. 装置	置の組み立て・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	18
3-1-2. 大祭	気圧プラズマ熱処理装置の改造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	18
3 - 1 - 3. S i	i C基板の均一加熱化検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
【3-2】 S i C 基	基板用クリーン搬送装置の製作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
【3-3】前処理装	表置の製作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
【3-4】イオン注	主入装置アダプター製作と大気圧プラズマ熱処理 S i C 基板の	
評価…		21
3-4-1. イス	オン注入装置アダプター製作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	21
3 - 4 - 2. 大學	気圧プラズマ熱処理SiC基板の評価・・・・・・・・・・・・・	22
【3-5】まとめ・		24

第3章 全体総括

【1】	全体目標について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26
【2】	今後の事業展開について・・・・・・	26

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1. 研究開発の背景

本研究は、中小企業の特定ものづくり基盤技術の高度化に関する法律及び中小企業のものづくり基 盤技術の高度化に関する指針に規定された、特定ものづくり基盤技術「(16)熱処理に係わる技術に 関する事項」に基づき、平成23~25年度の3年間実施した。

現在、冷蔵庫、エアコン、ハイブリッド自動車などに用いられるインバーターには、シリコン系パワー半 導体が用いられている。しかし、シリコン(Si)基板は電力が大きくなると発熱が大きくなり電力損失が生 じ、全社会的省エネルギー、発電所で発生するCO2削減などの観点から問題として取り上げられてい る。

これを解決する手法としてSiC(炭化ケイ素)をパワー半導体基板として用いる技術の開発が急速に 進んでいる。図1-1にシリコン基板半導体とSiC基板半導体とのスイッチ・オン、オフにおける電気特 性を比較して図示する。(a)はオン抵抗の温度依存性を示す図で、シリコンの場合は高温では抵抗値 が上昇して電力損失が大きくなり、発熱が著しくなることを示している。他方、SiCの場合は温度依存性 が全くなく、しかも低抵抗であるため電力損失が小さい。さらにオフ時には(b)に示すように、シリコン半 導体は逆方向に流れるリカバリー電流が高温になるほど著しくなって大きな発熱を生じているが、SiC 半導体の場合は ほとんどリカバリー電流がなく、発熱を生ぜず電力損失がほとんど起きないことを示し ている。





図1-1 シリコンとSiCとの電気的特性比較

(b)リカバリー電流

1-1-2. 研究の目的及び目標

本研究では、このSiC半導体の開発を促進して社会の省エネルギー化に寄与するために、SiC半導体デバイスの製造プロセスにおける課題を解決することを目的とする。

SiC半導体デバイスの製造プロセスは、シリコンの製造プロセスと概ね同じであるが、熱的条件が異なる(図1-2参照)。図中黄色地で示すイオン注入温度と熱処理(アニール)温度がシリコンの場合に比べ高温であるため、特別な装置を開発しなければならないという課題がある。これらの他にSiC単結晶には結晶欠陥がシリコン単結晶に比べ多い、という課題があるが、これは素材そのものの課題であるので、本研究では特に取り上げないこととする。



このうち基板をシリコンからSiCに変えると、工程フロー内の『イオン注入』は常温から 500℃へ注入温度を変更し、『熱処理(アニール)』は900℃から1,800℃以上へ熱処理 温度を変更させる必要があると言われている。



熱的課題の前者は、広島大学所有 の設備を改造して500℃イオン注入設 備とすることを目標とした。後者の課題を 解決するために、シリコン基板の2倍近 い高温を必要とするため、一般的にアル ゴンガス中で高周波誘導加熱する黒鉛 炉が使用されている(図1-3参照)。し かし、炉全体を加熱するため数10KWの大電 力が必要となってエネルギーロスが多い、また、 炉の昇温・冷却速度が遅く生産性が悪い等の課 題を持っている。

そこで、液晶基板やシリコン基板での熱処理において10,000℃以上の大気圧熱プラズマを熱源として加熱する広島大学で開発した熱処理法(図1-4)を、本開発でSiC基板熱処理に応用して実用化することを試みている。目標熱処理温度としては1,800℃~2,000℃、消費電力は加熱炉昇温が不要なことから従来の約35分の1に、また、高速加熱・急速冷却によって生産性は2.5倍の1枚/分を実現することを目標に掲げた。同じく、広島大学が開発した通常の放射温度計とは異なる基板内部温度を測定できるレーザー光干渉温度計を製作することとした。



図1-4 広島大学で開発した熱処理装置

1-2. 研究体制

1-2-1. 研究組織・管理体制



1-2-2. 他からの指導・協力者

氏 名	所属·役職	備考
声 法一郎	広島大学大学院先端物質科学研究科	アドバイザー
泉 佰一郎	半導体集積科学専攻教授) / / / / / –
谷 英昭	フェニテックセミコンダクター株式会社副社長	アドバイザー

1-3. 成果の概要

本研究のテーマ及びサブテーマに従って、実施内容と成果の概要を記す。

【1】 大気圧プラズマ熱処理装置の開発

【1-1】 プラズマトーチの試作

初年度シングルプラズマトーチを試作し、その性能確認と周辺機器の条件確認を行ったところ、Si C基板の一点を加熱する当初の本方式では、ウエハ割れを起こしやすい事が判明した。そこで、ウエ ハ割れ防止策として、多数のトーチによってSiC基板を全面加熱するマルチプラズマトーチの試作を 完成させた。このマルチプラズマトーチは、水冷式陽極電極にアルゴンガス管を接続した20本の小 型プラズマトーチが組み込まれている。

【1-2】 プラズマ電源の試作

DC電源は、マルチプラズマトーチ化に伴って、安定的に各々のトーチに対して、個別に電力を供給するために、市販されている小型プラズマ溶接機用電源を採用した。

【1-3】 モーションステージの試作

SiC基板をセットするため、リニアガイド2本を直交させて架台フレームに組み付けたモーションステ ージを試作した。また、マルチプラズマ化に伴って、SiC基板を把持するためのY軸に取付け可能な フィンガーとSiC基板を回転加熱することが可能な「回転モジュール」も試作した。

【1-4】 ステージ駆動装置の試作

ステージ駆動装置については、SiC基板を加熱できる構造とし、モーションステージを任意の速度 で任意の方向への移動を可能とした。

【2】非接触基板温度測定装置の開発

【2-1】レーザー光干渉温度測定装置の試作

レーザー光をガルバノスキャナーで往復振動させながら加熱したウエハに照射することによって、 「フィンガー」と「回転モジュール」において、温度測定ができることを確認した。

しかしながら、正確な屈折率データを得ることができず、放射温度計にてウエハ温度の測定を行う こととした。 【2-2】 温度測定電子回路と温度シミュレーションソフトの開発

リアルタイムにDC電源の電流制御が可能な温度計算ソフトを開発し、シングルプラズマトーチのみならず、マルチプラズマトーチによる「フィンガー」と「回転モジュール」においても、ウエハ温度の測定ができることを確認した。しかしながら、マルチトーチに採用した小型プラズマ溶接機用電源は市販品の為、フィードバック制御については、課題が残った。

- 【3】装置の組み立てと評価
- 【3-1】 大気圧プラズマ熱処理装置と非接触基板温度測定装置の組み立て及び試運転

マルチプラズマトーチ用大気圧プラズマ熱処理装置と駆動装置類、DC電源、アルゴンガス流量 制御装置は、シングルプラズマトーチ用の装置を改造して各種検討を行った。

まず、ウエハを静止状態での加熱、円運動させながらの加熱、ウエハ回転させながらの加熱実験 を行って適正条件を抽出後、目標の1,800~2,000℃に対して、最高到達温度1,805℃を達成す ることができた。

【3-2】SiC基板用クリーン搬送機の製作

SiC基板用クリーン搬送装置は、クリーンブース内に非接触基板温度計測装置付き大気圧プラズ マ熱処理装置と4インチSiC基板を25枚収納したカセットの搬入・搬出部、ウエハ基板の搬送ロボット より構成される装置であるが、補完研究での取り組み課題とすることとした。

【3-3】前処理装置の製作

広島大学所有のイオン注入装置を高温(500℃)でイオン注入が可能なように、基板加熱ホルダの 設置と試料室の改造を行い、更には、4インチ基板用アダプター製作も行い、昇温も40分で500℃、 最高578℃まで加熱できることを確認した。

【3-4】イオン注入装置用アダプター製作と大気圧プラズマ熱処理SiC基板の評価

4インチ基板用アダプター(ホルダ)にSiC基板をセットして、ホウ素のイオン注入を常温と高温 (520℃)で行った後、このイオン注入したSiC基板をウエハ回転モジュールにセットしてマルチプラズ マ熱処理(アニール)を行った。イオン注入領域の熱処理(アニール)温度バラツキの影響で特性変動 が生じていたが、常温イオン注入、高温イオン注入ともに、p/n 接合の整流特性が確認でき、目的の アニール効果の評価が確認できた。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

〒730-0052 広島県広島市中区千田町三丁目7-47 公益財団法人ひろしま産業振興機構研究開発支援センター

担当 立沢 重臣

TEL:082-240-7712 FAX:082-242-7709

第2章 本論

【1】 大気圧プラズマ熱処理装置の開発

本開発では、大気中の酸素を巻き込んでオゾン発生する可能 性があり、また、プラズマジェットは高輝度発光する。従って、研 究員及び周辺の作業員の安全な作業環境を確保するために、 排気ダクトとUV強化樹脂窓を有した実験用排気ブース内で実 験を行うこととした(図2-1参照)。

初年度試作したシングルプラズマ装置(図2-2(a))をマルチ プラズマトーチ装置に改造してその加熱性能を確認した。プラ ズマトーチを点火するためには、流量制御したアルゴンガスを陰 極に供給後、低電圧・大電流のDC電源を電極(陽極:銅、陰 極:タングステン)に印加することによってプラズマ放電させてい る。この時、プラズマジェットは非常に高温になるために、陽極 部は冷却可能(冷却水温10℃)な構造で、電極が熱によって熔 融する事を防止している。なお、陰極はアルゴンによる空冷構 造となっている(図2-2(b)参照)。



図2-1 実験用排気ブース



図2-2(a) シングルプラズマトーチ実験用機器の接続概要

大気圧プラズマ熱処理装置



Arガス

図2-2(b) マルチプラズマトーチ実験用機器の接続概要

【1-1】 プラズマトーチの試作

1-1-1. マルチプラズマトーチの試作

SiC基板面を均一に加熱するために、20本の小型プラズマトーチに、アルゴンガス管を接続して水 冷式陽極電極に組込むことによってマルチプラズマトーチを完成させた(図2-3参照)。

小型プラズマトーチの電極(陰極)は空冷構造で、水冷式陽極電極は、プラズマジェットが噴出する ための小穴(噴出孔)が空けられている。



図2-3 マルチプラズマトーチ

【1-2】 プラズマ電源の試作

1-2-1. マルチプラズマトーチ用電源の検討

試行的にマルチプラズマトーチの内の中央2本を使って、大型DC電源に並列接続を行い、点火実 験を行ったところ、片方のみしか点火しなかった(図2-4参照)。当初期待した1つの大型DC電源で、 複数(20本又は10本)の小型プラズマトーチへの並列電源供給の開発は、開発スケジュールの関係か ら補完研究の課題として取り組むこととし、1つの小型DC電源に1つの小型プラズマトーチを接続して、 確実で安定的なプラズマジェットを得る事に今回は注力した。



点火したプラズマジェットの状態

図2-4 DC電源とプラズマジェットの状態

【1-3】モーションステージの試作

モーションステージ(XYテーブル)には、SiC基板をセットするため、リニアガイド2本を直交させて 架台フレームに組み付けた。X軸部とY軸部には実験中にSiC基板割れによる破片が、駆動ボール ねじ等の摺動部に入らないように蛇腹構造とした(図2-5参照)。

また、プラズマトーチは基板との距離を調整するために、手回しのメモリ付きZ軸エレベータに固定 した。



シングルプラズマトーチを設置した場合

マルチプラズマトーチを設置した場合

図2-5 モーションステージ(XYテーブル)

1-3-1. マルチプラズマトーチ用フィンガーの試作



図2-6 マルチプラズマトーチ用フィンガー

低頭ねじによってウエハをクランプするため のタンタル製金具を留めたフィンガーを試作し (図2-6参照)、前述モーションステージにセ ットして実験を行った。

【1-4】 ステージ駆動装置の試作

前項のモーションステージ (XYテーブル)に合わせて、駆動するための電子回路(ハードウエア)と ソフトウエアを試作した(図2-7参照)。

ソフトウエア仕様は、以下のとおりである。



くソフトウエア仕様> 以下の移動が速度、方向が任意に設定 可能であること ·直線移動 ·円形移動 ・円運動しながら横移動 ・ジグザグ動作による移動

図2-7 ステージ駆動装置

1-4-1. ウエハ回転モジュールの試作



フィンガー加熱に対して、SiC基板を回転する ことによって均一加熱するものとして、最高回転 速度 7.0rpsのウエハ回転モジュールを試作し た。フィンガー同様、低頭ねじによってウエハをク ランプするためのタンタル製金具を留めたウエハ 回転板をウエハ回転モジュールにセットして回転 加熱が行えるようになっている(図2-8参照)。

【1-5】まとめ

- プラズマトーチを点火すると空気を巻き込んでオゾン発生する可能性とプラズマジェットが高輝度 発光するため、研究員及び周辺の作業員の安全な作業環境を確保する観点からUV強化樹脂 窓を有した実験用排気ブースの中で実験・検討を行った。
- ② 今回は1つの小型DC電源に1つの小型プラズマトーチを接続して、確実で安定的なプラズマジェットを得ることに注力し、1つの大型DC電源で、複数(20本又は10本)の小型プラズマトーチへの並列電源供給は、補完研究の課題とした。
- ③ SiC基板を割ることなく昇温できる最適条件構築として、最高到達温度1,805℃まで確認できた。 補完研究では、1,650±50℃でも製品としての熱処理(アニール)ができるかどうかを確認する。
- ④ 当初、SiC基板をシングルトーチによってスキャン加熱する前提で目標設定していたが、マルチト ーチによる回転基板加熱により大幅な生産性向上が期待できようになった。

【2】非接触基板温度測定装置の開発

【2-1】レーザー光干渉温度測定装置の試作

レーザー光干渉温度測定装置の測定原理は、He-Neレーザー光(波長 632.8nm)をSiC基板に照 射して、表面と裏面との反射光が干渉する現象を利用している。プラズマジェットが当たる最高温度部と その周辺部との温度差により、ウエハの光学厚さに変化が生じて干渉縞が発生する。この縞の数が周 辺温度と中心温度との差に比例して熱膨張した光学厚さが測定され、これを温度に変換して中心の最 高温度を測定している(図2-9参照)。

本開発の装置は、X軸を1回動作させて干渉縞数をカウントする方法とは異なり、ガルバノスキャナー で最高温度の周辺をスキャンして、スキャン毎に温度計算して表示するようになっている。また、測定ポ イント毎の温度分布も測定することができる(図2-9参照)。正確な屈折率データを得ることができず、 今回は放射温度計によるSiC基板温度測定を行った。



図2-9 レーザー光干渉温度測定装置と模式図

【2-2】 温度測定電子回路と温度シミュレーションソフトの開発

温度測定用制御装置は、市販されているスキャン信号発生装置(ファンクションジェネレータ)と信号 解析装置(FA用パソコン)より構成されており(図2-10参照)、シミュレーションソフトは、温度測定フロ ー(図2-11参照)に従って開発した。



図2-10 温度測定用制御装置

図2-11 温度測定フロー

レーザースキャンスタート時点の温度はスキャン毎に異なるため、放射温度計でスタート時点の温度 測定を行った後、レーザースキャンして反射光強度を測定する(この時、光学厚さが単調増加とする必 要がある)。次に、光学厚さの最高ポイントまでの干渉波数を求めて、最後に、光学厚さの最高ポイント での厚さ方向の平均温度を計算する。

干渉波は、SiC基板の表面反射光とSiC基板内部に侵入した後、裏面で反射してSiC基板外に出て きた光とが合波して発生する。この時の計算式は、図2-12で示すことができる。光学厚さは、レーザー 光波長の1/2増加する毎に、干渉波の明暗が一周期変化する(図2-13参照)。

予め測定された光学厚さの温度依存性データ(広島大学測定)を用いて温度に変換すると、300℃から1,800℃までは450波数になる。



図2-12 光干渉の発生

図2-13 測定された干渉波

光学厚さが最高のポイントでは、基板厚さ方向の平均温度は図2-14に示すように計算される。 ここで、レーザーをスキャンする範囲に基板厚さにバラつきがあると、温度測定に誤差が発生する。使用 した Dow Corning 社のSiC基板は、1μm 程度の厚さムラがあり、温度誤差は約20℃と計算される。

本レーザースキャン法は、厚さ方向の平均温度を求めることはできるが、表面の最高温度は求めること はできず、また、熱膨張により基板にたわみが発生するので、これが測定温度に影響する可能性が考 えられる。

図2-14に、レーザー干渉温度測定装置の構成図を示したが、このうち温度測定装置部分は背景 灰色地の部分のみである。今後の計画としては、モーションテーブルの動作(モーションコントローラ)に 基板の温度測定位置(スキャン信号発生)を同期させて、基板の任意の位置の温度測定することを考 えたい。また、信号解析回路から温度情報を取り出し、DC電源への電流制御によりプラズマジェットの 制御を行って、SiC基板温度の制御開発も検討している。



図2-14 光干渉温度測定装置の構成

【2-3】 まとめ

- ① レーザー光干渉による温度測定の理論を確立した。
- ② He-Neレーザー発生装置、ハーフミラー、ガルバノメーター、Fθレンズの光学機器を筐体に組 み付けてハードウエアとソフトウエアを前述理論に基づいて完成させた。
- ③ レーザー光干渉による温度測定装置に組み込む正確な屈折率データを得ることができず、今回 は放射温度計によるSiC基板温度測定を行った。
- ④ 目標の測定精度を±0.5%(2,000℃で±10℃)としていたが、③のとおりの結果となったため、補
 完研究の課題とする。

【3】装置の組み立てと評価

【3-1】 大気圧プラズマ熱処理装置と非接触基板温度測定装置の組み立て及び試運転

3-1-1. 装置の組み立て



実験用排気ブース(図2-1参照)内に、 大気圧プラズマ熱処理装置の他、非接 触基板温度測定装置、駆動装置類、大 型DC電源、アルゴンガス流量制御装置 を配置し、シングルプラズマトーチは大気 圧プラズマ熱処理装置に上向きにセット されている(図2-15参照)。運転するた めには、この他に冷却水装置、アルゴン ガスボンベが必要で、実験用排気ブース 外に設置した。

図2-15 大気圧プラズマ熱処理装置と非接触温度測定装置

3-1-2. 大気圧プラズマ熱処理装置の改造



前述シングルプラズマトーチ用大気圧 プラズマ熱処理装置と駆動装置類、DC 電源、アルゴンガス流量制御装置(図2-15参照)をマルチプラズマトーチ用に改

図2-16 大気圧プラズマ熱処理装置と非接触温度測定装置

3-1-3. SiC基板の均一加熱化検討

SiC基板が割れることなく1,800℃以上まで均一加熱することができる条件を確立するために、各種 パラメーターを振って、ある程度の適正値を見極めたのち、SiC基板を静止状態、円運動状態、回転状 態と段階的に検討を重ね、適正値を算出した。この適正値下で、ホウ素を広島大学にてイオン注入した 4インチSiC基板をセットして、マルチプラズマ加熱を行ったところ、ウエハ最高到達温度は1,729~1,8 05℃を実現した(図2-17参照)。



ウエハ面内温度分布(1)と到達最高温

面内最高温度到達時間



ウエハ面内温度分布(2)

図2-17 ウエハ面内温度分布と面内最高温度到達時間

【3-2】SiC基板用クリーン搬送装置の製作

SiC基板用クリーン搬送装置は、クリーンブース内に今回試作した非接触基板温度計測装置付き大気圧プラズマ熱処理装置と4インチSiC基板を25枚収納したカセットの搬入・搬出部、ウエハ基板の搬送ロボットより構成される装置であり、概略の構想を練った。補完研究では、ウエハ回転モジュールと搬送ロボットとの受け渡し方法について詳細な設計や試作を行う予定である。

【3-3】前処理装置の製作

SiC半導体デバイス製造上の課題の一つとして、SiC内の不純物拡散係数が低いことから、大電力 デバイス用の深い接合作製のためには、高エネルギー(350keV)注入が可能なイオン注入機(大型・高 価)が必要である。更には、イオン注入時に欠陥ができやすいために、高温下(500℃)での注入が必 要であると言われている。

本研究では目標性能として、多価(4価以上)イオンを用いて、加速エネルギーを従来のSi用装置と 同じ200keV以下にした小型で安価な装置を開発する。加えて、真空内高温局所加熱機構を開発して SiC基板を500℃で注入することが可能な高温イオン注入技術を開発する。

広島大学所有のイオン注入装置を高温(500℃)でイオン注入が可能なように、基板加熱ホルダの設置と試料室の改造と、前処理装置の改造(4インチ基板アダプター製作)を行い、昇温も40分で500℃、 最高578℃まで基板温度を加熱できることを確認した(図2-18参照)。



SiC向け高温イオン注入装置に改造 改造前(基板加熱機構なし) 改造後(基板加熱Ptヒータを設置)

図2-18 SiC基板用高温イオン注入装置

【3-4】イオン注入装置アダプター製作と大気圧プラズマ熱処理SiC基板の評価

3-4-1. イオン注入装置アダプター製作

広島大学所有のイオン注入装置は2インチ用であり、工業的には4インチが標準であることと、4イン チウエハをカットして注入後マルチプラズマジェットで高温アニールを行うと、ウエハ割れを起こしてしまう。 このため、4インチ基板用アダプター(ホルダ)を製作して広島大学所有のイオン注入装置にセットして 対応することとした(図2-19参照)。このときの、イオン注入領域と評価時の液体金属電極(InGa)を図 2-20と図2-21に示す。



図2-19 4インチ基板用アダプター





図2-21 イオン注入サンプル断面

図2-20 4インチ評価サンプルウエハ

次に、SiC基板は半透明のため、ラジエーション加熱(熱線照射)による昇温が遅いので、ウエハ裏 面にレジスト塗布を行った後、窒素雰囲気中で加熱(750℃)炭化させてから、前述アダプターにセット 後ヒーター加熱した(図2-22参照)。その結果、イオン注入時に4インチSiC基板が 500℃以上に昇 温することを確認した(図2-23参照)



3-4-2. 大気圧プラズマ熱処理SiC基板の評価

広島大学にて、ホウ素のイオン注入を常温と高温(520℃)で行ったSiC基板を、ウエハ回転モジュー ルにセットしてマルチプラズマ加熱を行った(図2-24(a)、(b)参照)。イオン注入領域におけるアニー ル温度は概ね 1,500~1,775℃で、常温イオン注入、高温イオン注入ともに、p/n 接合の整流特性が 確認できた(図2-25参照)。

今回の実験では、常温イオン注入の方が若干バラツキが大きい。これはマルチプラズマ熱処理(アニ ール)温度が1,500~1,775℃とバラツイテいたためと考えられる。



ウエハ面内温度分布(a)と到達最高温度

熱処理(アニール)状況



ウエハ面内温度分布





ウエハ面内温度分布(b)と到達最高温度





ウエハ面内温度分布

図2-24(b) マルチプラズマ加熱状況(高温イオン注入)



図2-25 マルチプラズマ熱処理(アニール)によって形成した p/n 接合の電気特性

【3-5】 まとめ

- シングルプラズマトーチ用大気圧プラズマ熱処理装置と駆動装置類、DC電源、アルゴンガス流量 制御装置をマルチプラズマトーチ用に改造し、以下にマルチプラズマトーチにおける検討内容を示 す。
- ② 陽極電極のトーチレイアウトに対して、加熱ポイントとの相対的位置関係が適正になるようにウエハを配置してそれぞれの実験を行った。
- ③ ウエハを静止、円運動において行った条件下では、均一加熱できずウエハ割れを起こしてしまった。 また、最高到達温度も1,449℃、1,407℃と、目標温度に達することができなかった。
- ④ 一方、ウエハ回転モジュールを使用した回転加熱の場合は、比較的良好に均一加熱が行なえ、目標である1,800~2,000℃以上に対して、最高到達温度1,805℃を達成することができた。
- ⑤ 4インチSiC基板用500℃イオン注入装置は完成し、ホウ素による高温イオン注入(520℃)に成功 した。
- ⑥ 広島大学にて、ホウ素のイオン注入を常温と高温(520℃)で行ったSiC基板を、ウエハ回転モジュ ールにセットしてマルチプラズマ加熱を行い、常温イオン注入、高温イオン注入ともに、p/n 接合の 整流特性が確認できた。
- ⑦ 今回の条件下では、常温イオン注入サンプルの方が若干バラツキが大きい。これはマルチプラズマ 熱処理(アニール)温度がウエハ面内で1,500~1,775℃とバラツイテいたためと考えられる。

- ⑧ 当初、SiC基板をシングルトーチによってスキャン加熱する前提で目標設定していたが、マルチトーチによる回転基板加熱により大幅な生産性向上が期待できようになった。
- ⑨ SiC基板用クリーン搬送装置については、補完研究において装置(大気圧プラズマ熱処理装置)の 主要な部分の開発状況に応じた詳細な設計や試作を行う予定である。
- ① 今回は、熱処理(アニール)効果のみの評価となったが、補完研究では半導体デバイスを作成しての評価(自由電子密度、シート抵抗等の電気的特性)を行う予定である。

第3章 全体総括

【1】全体目標について

<全体目標>

SiC基板熱処理装置と非接触基板温度測定装置を開発する。

・熱源温度 10,000℃の大気圧プラズマを用いてSiC基板をミリ秒単位で直接加熱

・トータルの生産性が4インチ基板60枚以上/時間

- 1. 大気圧プラズマ熱処理装置の開発と熱処理(アニール)評価について
 - ・ 大気圧プラズマのマルチトーチ化とSiC基板を回転することによって、ウエハ割れを起こすこと なく均一加熱する条件確立ができ、開発を完了した。
 - ・ 基板加熱最高到達温度については、目標の1,800~2,000℃を達成することができた。
 - ・ 常温イオン注入、高温イオン注入ともに、p/n 接合の整流特性が確認でき、熱処理(アニール) に成功した。
 - ・ しかしながら、ウエハ面内温度バラツキにより、p/n 接合の整流特性にバラツキが生じていた。
 - ・ トータルの生産性については、目標の4インチ基板60枚以上/時間(1枚以上/分)に対し、10 秒程度で最高到達温度に達することができたため、実現の目途が立ったと言える。
- 2. レーザー光干渉温度測定装置の開発について
 - ・ レーザー光干渉温度測定の理論は確立した。
 - ・ 確立した理論に基づき、He-Neレーザー発生装置、ハーフミラー、ガルバノメーター、Fθレ ンズの光学機器を筐体に組み付けてハードウエアとソフトウエアを完成させた。
 - ・レーザー光干渉による温度測定装置に組み込む正確な屈折率データを得ることができず、補 完研究の課題とした。

【2】 今後の事業展開について

今後の事業展開ついては以下の内容をもとに3年間の補完研究に取り組み、4年後の装置の製品化を実現したい。

(補完研究1年目)

- 電極材質による SiC デバイスへの金属汚染の確認
 プラズマジェットの異常放電時における金属汚染があれば、SiC デバイスとしての特性が損なわれるため、その汚染の有無を確認する。また、汚染があれば、対策等を検討する。
- ・ ウエハ面内温度のバラツキ抑制

文献によると、SiC基板の熱処理(アニール)温度は、1,600℃以上との報告もあることから、 均一化に注力し、1,650±50℃程度でも製品としての熱処理(アニール)が可能か確認す る。

(補完研究2年目)

- ・ プラズマトーチのライフ延長とメンテナンス性向上
- ・ SiC基板用クリーン搬送機開発
- ・レーザー光干渉温度測定装置の正確な屈折率データ抽出 (オロロロロロロ)

(補完研究3年目)

・ 1つの大型DC電源によるマルチトーチ化