

特 集 論 文

SiCパワーデバイス向け高性能高温注入機
(IMPHEAT)

High Performance High Temperature Ion Implanter
(IMPHEAT) for Manufacturing SiC Power Devices

趙 維 江* 糸 井 駿*
W. J. Zhao S. Itoi
舟 木 瑛* 塩 尻 史 郎*
A. Funaki S. Shiojiri
飛 川 和 紀*
K. Tobikawa

概要

省エネや環境保護に世界の関心が高まる中、シリコンウェーハと比較して、耐高電圧、耐高温等の特性を有するSiC (Silicon Carbide) をベースにしたパワーデバイスの普及が強く期待されている。パワーデバイス自身の電力消費を抑えるためには、作成する縦型構造トランジスタのオン抵抗 (R_{on}) を低減する必要があり、SiCウェーハを薄くする努力が続けられている。現時点で、厚さを350 μ mまで薄くした6インチSiCウェーハが商品化されている。ウェーハが薄くなると変形(バウ、ウェーハの中心位置と三点基準平面との間の距離)も大きくなり、例えば、350 μ mのウェーハ厚に対して、バウが200 μ mを超える例もある。このように大きな反りをもつウェーハを搬送・処理することは困難であるが、本論文では、静電チャック (Electro-Static Chuck, ESC) に機械的なクランプ構造 (メカクランプ) を追加する事で、変形(バウ)が200 μ m以上あるウェーハも搬送・処理可能である事を紹介する。また、生産性も飛躍的に向上し、厚さが350 μ mの6インチSiCウェーハのメカニカルスループットは従来の36倍に達した。

Synopsis

SiC power devices have higher breakdown voltage and better thermal properties than Si based ones, so they are expected to be widely used, as we consider saving energy and protecting environment more seriously. In order to reduce the energy consumption of SiC power devices, R_{on} (on-state resistance) of the transistors must be reduced, so thinner SiC wafers are requested. But thinner wafers usually have larger distortion (bow, a distance between the wafer center and the 3-point master flat plane). For example, we can find some 350 μ m thin SiC wafers with bow larger than 200 μ m, and it makes handling and processing very difficult. We have developed a high performance high temperature ion implanter to deal with these distorted wafers by using an Electro-Static Chuck (ESC) system with a mechanical clamp. The throughput of 6 inch, 350 μ m SiC wafers by this new ion implanter is 36 times higher than the conventional machine.

1. まえがき

SiCパワーデバイスが、従来のSiベース品を代替する物として熱い注目を浴びている。表1にSiCウェーハとSiウェーハの主な物性を示す。およそ3倍高い禁制帯幅は、SiCパワーデバイスがより高温で動作可能である

ことを意味している。通常のSiデバイスの最高動作温度が150°C~200°Cであるのに対して、650°Cで動作するSiC MOSFETデバイスも発表されている⁽¹⁾。高い動作温度と熱伝導性により、SiCパワーデバイスは放熱構造が非常に容易・簡略になる。また、高い絶縁破壊電界強度

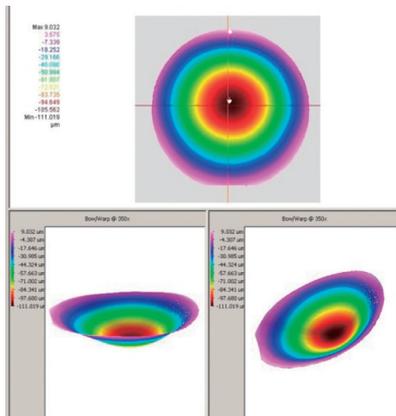
*日新イオン機器株式会社

を持つため、高電圧パワーデバイスの製作に非常に有利であり、Siと同じ耐圧のパワーデバイスを作る際、より薄い基板が使用可能となる。また、デバイスの直列抵抗がSiに比べて約300分の1になるので、デバイス自身によるエネルギー損失が小さくなる。現在の技術トレンドとして、SiCウェーハの厚さをさらに薄くする事で、デバイスの省エネ特性を大幅に改善しようとしている。

表1 SiC (4H-SiC)、Siウェーハの主な物性⁽²⁾

	4H-SiCウェーハ	Siウェーハ
禁制帯幅(eV)	3.26	1.12
電子移動度(cm ² /Vs)	1000	1350
絶縁破壊電界強度(MV/cm)	2.8	0.3
熱伝導率(W/cmK)	4.9	1.5

図1は、6インチ径、350 μ m厚のSiCウェーハの歪を測定した結果であるが、ここまで薄くすると、ウェーハに非常に大きな変形(バウ: -110.1 μ m)が生じている。バウがマイナスになるのはウェーハの形がお椀型になっている事を示す。このようなウェーハの変形によって搬送・注入等のプロセスに不具合が生じる。例えば、ウェーハが搬送用プラテンから落下したり、上手く吸着出来なくなったりする。これらの問題を解決するため、ESCとメカクランプを組み合わせたプラテンを開発した。

図1 変形した6インチSiCウェーハ (バウ: -110.1 μ m)

2. ESC+メカクランプ高温モジュール

IMPHEATはヒータ付ESCを用いて、SiCウェーハを加熱しながら所定のイオンを注入する装置である⁽³⁾⁽⁴⁾。高温ESCモジュールは、ウェーハ吸着面積に吸着電極、裏側にヒータを設けている。ウェーハの変形(バウ)が大き過ぎると、ESC表層誘電体との接触面が小さくなり、ウェーハを上手く吸着出来なくなるという問題が生じ

る。そこで、ESCとは別に機械式の固定を行うメカクランプを追加する事で、バウが200 μ m以上の6インチSiCウェーハへの処理も可能とした。図2はSiCを保持しているメカクランプ付き高温ESCモジュールの写真(ESC温度は720 $^{\circ}$ C)である。手前に四本の指のように見えるクランプの先端部でウェーハのエッジを固定している。なお、写真の奥側にも同じ構造のメカクランプがある。



図2 メカクランプ付き高温ESCモジュール

3. メカクランプ付き高温ESCでの検証結果

3.1 常温注入前後のウェーハの変形(バウ)

3.1.1 常温注入時の変形と注入量の関係

表2と図3は、常温注入時のウェーハのバウと注入量との関係を示している。注入量(Alイオン)が高くなると、注入後のウェーハがドーム形になる傾向がある。注入量が2.2E13 (cm²)の時のバウが最も小さく、ポテトチップ状になっている。イオン注入によって、ウェーハ表面が膨張する応力が発生する事が、この変形の原因と推定している。

表2 ウェーハ変形と注入量との関係

	注入量 (cm ²)	変形(バウ) (μ m)		ウェーハ形状	
		注入前	注入後	注入前	注入後
1	1.0E+13	-80.8	-58.4	お椀	お椀
2	2.2E+13	-75.5	-9.3	お椀	ポテトチップ
3	3.5E+13	-69.2	35.3	お椀	ドーム
4	5.5E+13	-68.6	119.9	お椀	ドーム

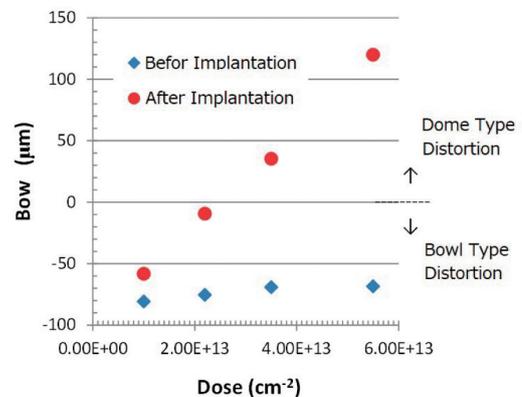


図3 注入量と変形(バウ)との関係

3. 1. 2 注入前後のウェーハ形状の観察

注入前後のウェーハ形状の変化をウェーハ反り測定器にて観察した (図4)。注入前のウェーハは全てお椀形に変形していたが、注入量の増加に従って、お椀形→ポテトチップ形→ドーム形のように変化しており、表2と図3の結果と一致している。

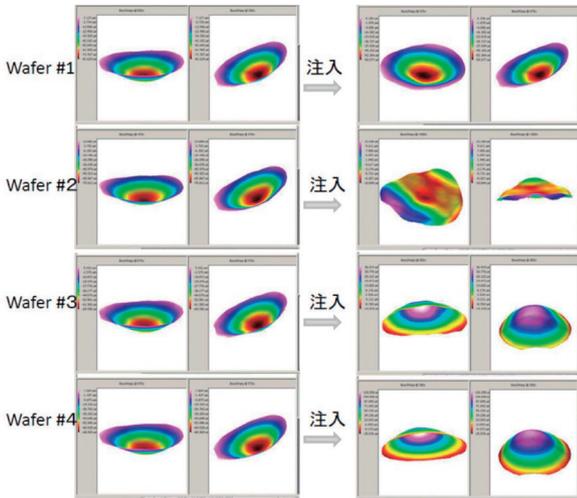


図4 ウェーハ形状の変化

3. 2 高温注入時のウェーハの変形

図5は、500℃での高温注入 (注入量: 6E14cm²) 前後のウェーハ形状を測定した結果である。注入前のバウが-110.1μm (お椀形) であったのに対して、注入後のバウは211.5μm (ドーム形) になっており、IMPHEATは、バウが200μmを超えるウェーハに対しても搬送・注入が可能である事を示している。

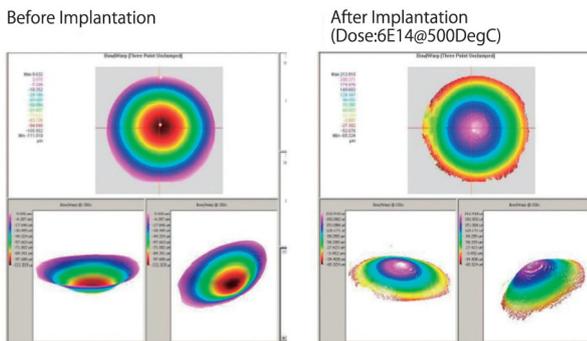


図5 高温注入前後のウェーハ形状の変化

3. 3 高温時のメカニカルスループット

メカクランプなしで6インチSiCウェーハを処理する場合、いきなりウェーハを加熱すると、変形が更に大きくなり、ESCで吸着出来なくなるので、まず

は低温で吸着し、その後ゆっくり昇温していた。注入後も、ウェーハをプロセスチャンバから安全に搬送出来るように、いったんウェーハ温度を下げる必要があり、その結果として、メカニカルスループットは、一時間あたり1枚 (1 WPH) であったが、メカクランプの追加により、図6に示すように、スループットは一時間あたり36枚 (36 WPH) まで飛躍的に増加した。

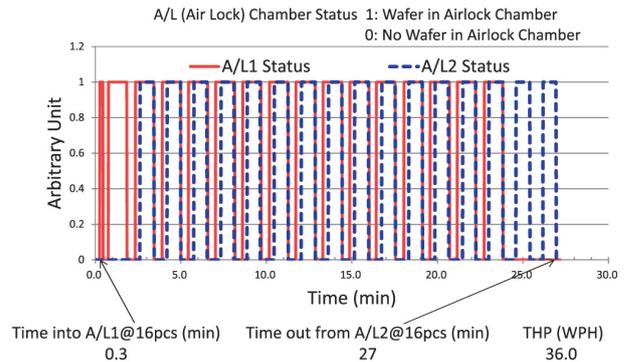


図6 メカニカルスループット測定結果

3. 4 ウェーハの温度分布均一性

メカクランプ付高温ESCモジュールのウェーハ温度を測定した結果を図7に示すが、6インチSiCウェーハの面内温度分布は非常に良好であり、500℃時の温度偏差ΔT (T_{max} - T_{min})は17.1℃であった。また、メカクランプによるパーティクルの発生や、ウェーハチャIPPING等の不具合が無いことも確認した。

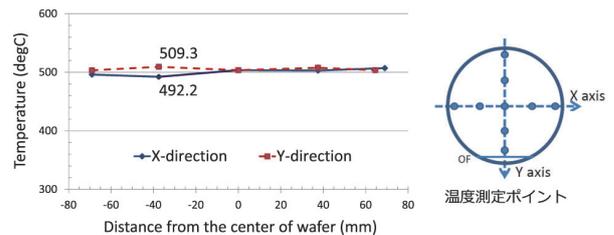


図7 6インチSiCウェーハの面内温度均一性

4. 結び

SiCパワーデバイス向けに開発した量産用高性能高温イオン注入装置について紹介した。静電チャックとメカクランプの組み合わせにより、200μm以上変形した6インチSiCウェーハに対しても、搬送及び高温注入が可能になった。ウェーハ面内の温度均一性についても、500℃での温度偏差を20℃以内に制御する事が可能である。スループットを飛躍的に改善することにも成功した。

参考文献

- (1) 松浪弘之、大谷昇 他 : 「半導体SiC技術と応用」
p.15
- (2) 松浪弘之、大谷昇 他 : 「半導体SiC技術と応用」
p.14
- (3) T.Igo, et. al. : “Ion Implantation Technology 2010”,
pp.388-391
- (4) K.Tobikawa, et. al. : “Ion Implantation Technology
2012”, pp.332-335

執筆者紹介



趙 維 江 Wei-Jiang Zhao
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
エキスパート



糸井 駿 Suguru Itoi
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部



舟木 瑛 Akira Funaki
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部



塩尻 史郎 Shiro Shiojiri
日新イオン機器株式会社
フィールドサポート事業部
エキスパート



飛川 和紀 Kazuki Tobikawa
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任