

小野山 歩* 山田 勝*
中田和成*
榎崎敦司**

トレンチIGBTの異物管理技術

Defect Management Technology of Trench IGBT

Ayumu Onoyama, Kazunari Nakata, Atsushi Narazaki, Masaru Yamada

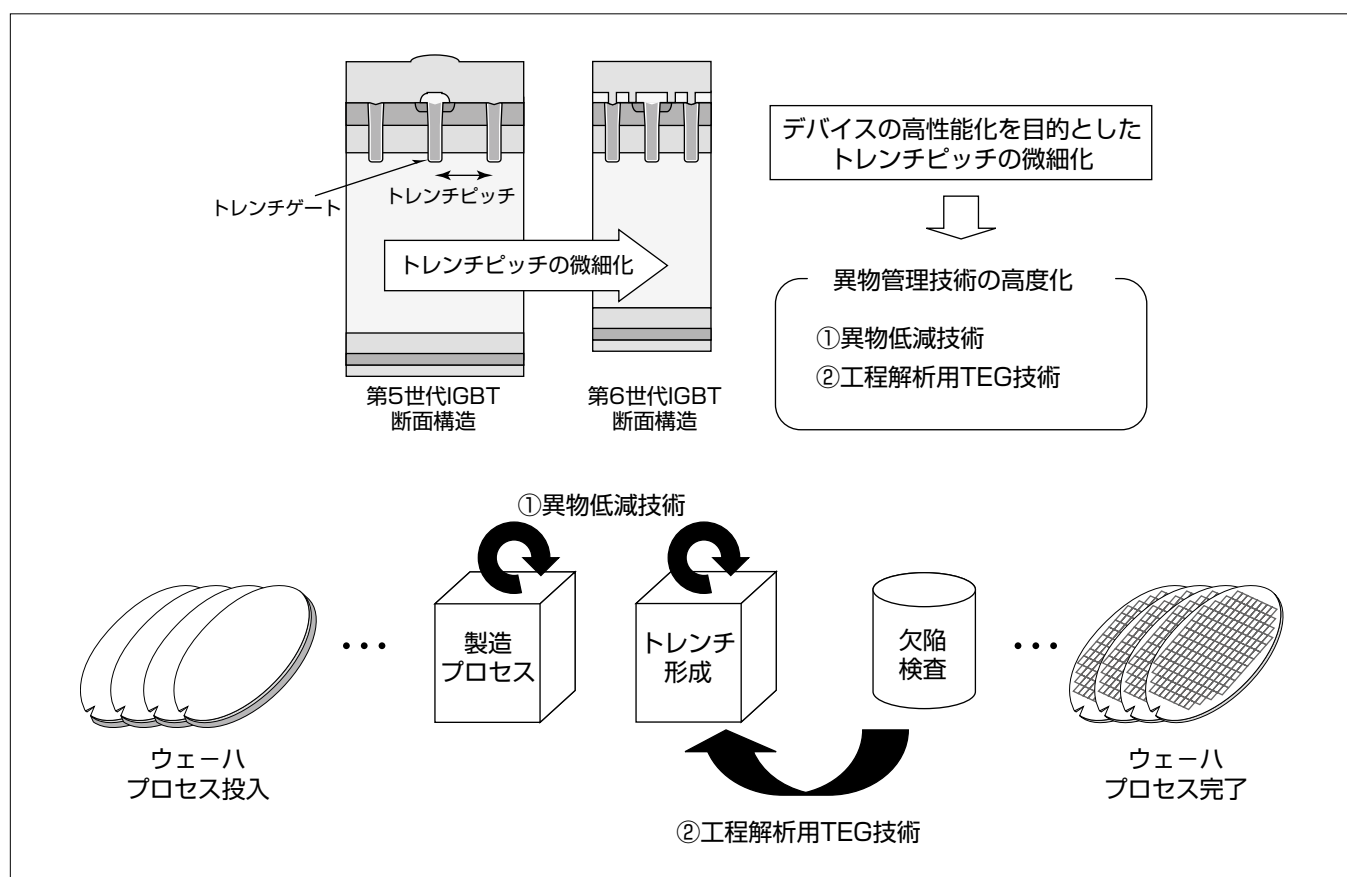
要 旨

近年の環境意識の高まりを受け、電力エネルギーを効率的に利用できるパワーエレクトロニクス機器の普及が著しい。その中で、パワーエレクトロニクス機器のコアデバイスであるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)の高性能化と生産性の向上が必要となっている。

IGBTは、その中に組み込まれるトランジスタセル数によって、電流の流れやすさが決まるため、トレンチIGBTではトレンチピッチの微細化技術が非常に重要となる。三菱電機では、第5世代IGBTから第6世代IGBTに進化する際に、LSI(Large Scale Integration)に用いられる微細加工技術をベースに、パワーデバイスに対応した微細化技術を開発することによって、トレンチピッチの微細化を実現し、IGBTの性能向上を図った。

また、スイッチングデバイスであるトレンチIGBTでは、電流のON/OFFを制御するトレンチゲートの形成が重要である。トレンチゲートは、シリコン基板に深いトレンチ形状を加工するドライエッチングプロセスによって形成される。このトレンチ形成工程で異物が発生すると、トレンチ形状が崩れ、電気的不良となる。つまり、異物を管理する技術は、トレンチIGBTの生産性向上に不可欠の技術である。

本稿では、トレンチIGBTの開発及び量産に必要な異物管理技術として、“トレンチピッチの微細化によって新たに管理が必要となった異物の低減技術”と“異物発生工程の特定を短時間化できる工程解析用TEG (Test Element Group) 技術”について述べる。



トレンチIGBTの異物管理技術

パワーエレクトロニクス機器のコアデバイスであるIGBTの高性能化には、トレンチピッチの微細化技術が必要であり、この微細化に対応した異物管理の高度化が必要不可欠である。微細化によって新たに管理が必要となった異物を低減する装置・プロセス技術や、トレンチIGBTのキー工程であるトレンチ形成工程での異物解析をショートサイクルで行える工程解析用TEG技術の開発を進めている。

1. ま え が き

近年の地球温暖化に代表される環境問題に対する意識の高まりを受け、低炭素社会に向けた省エネルギー化が年々重要になってきている。それに伴い、電力エネルギーを効率的に利用できるインバータを搭載した家電製品、ハイブリッド自動車や電鉄、産業用機器、さらには太陽光発電用パワーコンディショナなどが注目されている。このインバータやコンバータのコアデバイスがパワーデバイスであり、パワーデバイスに対する高性能化と生産性向上の要求も高くなっている⁽¹⁾。

これらのパワーデバイスには、主としてシリコン基板を用いたIGBTやダイオードなどの半導体デバイスが用いられる。IGBTチップは、その中に組み込まれるトランジスタセル数によって通電能力が決まるため、現在主流となっているのは高集積化が可能なトレンチIGBTである。このトレンチIGBTの高集積化には、トレンチピッチの微細化が必要である。

トレンチIGBTのトレンチゲートを作り込むには、ドライエッチングプロセスによって高アスペクト比のトレンチをシリコン基板に形成しなければならない。このトレンチ形成工程で異物が発生すると、トレンチ形状が崩れ、電気的的不良となる。この異物を管理する技術は、トレンチIGBTの生産性を向上するために必要な技術である。

このように、トレンチIGBTの開発及び量産には、トレンチ形成工程で発生する異物を管理する生産技術が必要である。その生産技術力のレベルによってデバイスの特性や製造不良率は大きく左右される。

本稿では、“トレンチピッチの微細化によって新たに管理が必要となった異物の低減技術”と“異物発生工程の特定を短時間化できる工程解析用TEG技術”について述べる。

2. トレンチピッチの微細化によるトレンチIGBTのデバイス性能向上

IGBTチップは、多数のトランジスタセルからなる通電部と高電圧に耐える接合終端部で構成される。IGBTの通電能力を向上させるためには、トランジスタセルを微細化し、トランジスタセル数を増やすことが必要である。

図1にIGBTの性能指数であるFOM(Figure of Merit)の値と、第一世代を基準とした各世代の改善状況とキーテクノロジーとの関係を示す。FOMはパワーデバイスに流せる定格電流密度を通電時の電圧(オン電圧)とスイッチング時の電力損失で割ったものである。第1世代から第3世代はプレーナゲート構造である。第4世代でセル構造を、シリコン基板にトレンチを形成するトレンチ構造とすることによって、飛躍的にトランジスタセル数を向上させてきた。第5世代では、濃度プロファイルをCSTBT(Carrier

Stored Trench Bipolar Transistor)構造とし、オン電圧を低減した⁽²⁾⁽³⁾。さらに、第6世代では、薄ウェーハ化及びトレンチピッチの微細化が行われた。

図2に、第5世代IGBTと第6世代IGBTのセル構造を示すが、IGBTは、デバイスの縦方向(厚さ方向)に電流を流すため、薄ウェーハ化によって通電時のオン電圧を低減できる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

図3に、トレンチピッチの微細化によって、トランジスタセルを高集積化した場合のオン電圧をシミュレーション

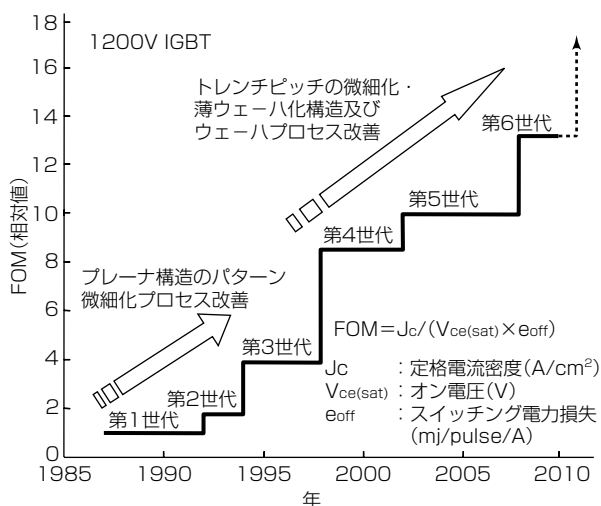


図1. デバイス構造の進化によるIGBTの性能向上

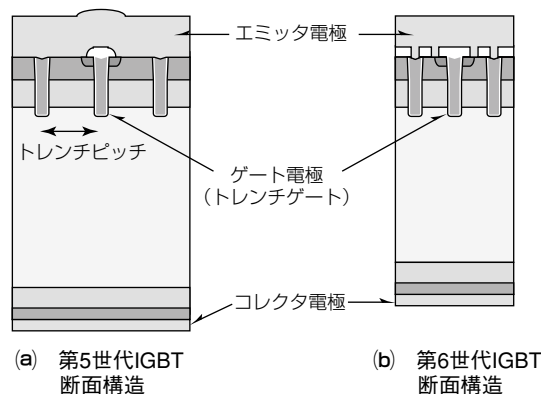


図2. 第5世代と第6世代IGBTの断面構造比較

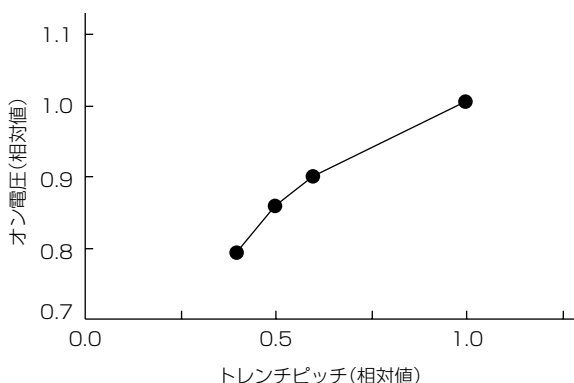


図3. トレンチピッチの微細化によるオン電圧の低減(シミュレーション値)

した結果を示す。トレンチピッチの微細化によって、オン電圧の低減が可能となり、さらなる省エネルギー化が見込まれる。

このように、プレーナゲート構造からトレンチゲート構造への進化があった第4世代と、トレンチピッチの微細化を行った第6世代では、トランジスタセルの高集積化によって大幅にFOMが改善した。

3. 微細化によって新たに管理が必要な異物低減技術

先に述べたようにトレンチピッチの微細化を進めてきたが、パターンの微細化が進むと、異物がより問題となる。すなわち、従来のパターンピッチでは、短絡(ショート)や開放(オープン)などの電氣的不良にならなかったサイズの異物が、パターンの微細化によって配線間距離が短くなったため、短絡不良の原因となる。さらに、パターンの微細化によって、配線にかかる応力が大きくなり、不良が発生しやすくなる。これらの不良を低減するため、管理する異物サイズを小さくする、配線にかかる応力を低減するという対策が必要となる。

トレンチIGBTの心臓部であるトレンチゲートは、次のような工程でシリコン基板上に形成される。写真製版処理によってゲートパターンを形成し、ドライエッチングプロセスによって高アスペクト比のトレンチを形成する。次に、エッチング時に発生した分解・反応生成物を除去し、清浄なシリコン面を露出させる洗浄処理を行った後、ゲート酸化膜とポリシリコン電極を形成する。

図4に、トレンチピッチの微細化を検討した際に発生した異物のウェーハ面内分布とSEM(Scanning Electron Microscope)像の一例を示す。この異物は、トレンチ形成後にトレンチに加わる応力によって発生した異物である。この異物を低減するため、洗浄工程及びゲート酸化膜形成の工程でトレンチに加わる応力の低減を目的としたウェーハ保持治具形状の改善と、洗浄工程の適正化を実施した。

また、このトレンチに加わる応力とトレンチ深さの面内均一性はトレードオフの関係にあることが分かっている。そこで、更なる対策として、デバイス構造として要求されるトレンチ深さをウェーハ面内で十分に確保しつつ応力を低減するため、トレンチパターン形成領域の適正化を実施した。

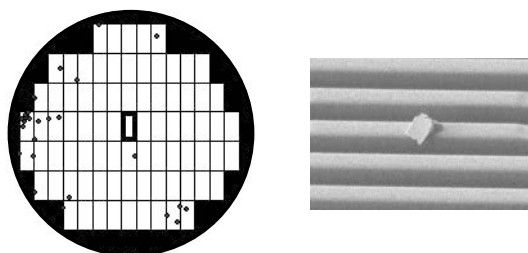


図4. 異物のウェーハマップとSEM像

これらの対策によって、トレンチ深さの面内均一性を確保した上で、微細化によって発生した異物を大幅に低減することができた。

4. TEGを用いた工程解析技術

4.1 トレンチ形成工程の異物管理

半導体製造装置では、様々な原因で発生した異物がウェーハに付着し、電氣的不良を引き起こす原因となる。例えば、エッチング装置では、エッチングガスが滞留する部分で、分解・反応生成物が堆積しやすい。その堆積物がはがれ、ウェーハに付着することがある。

IGBTでは、シリコン基板をドライエッチングプロセスで加工するトレンチ形成が最も重要な加工工程である。このトレンチ部に電流のON/OFFを制御するためのスイッチであるゲート酸化膜とゲート電極が成膜される。このゲート電極とエミッタ電極間、コレクタ電極間はシリコン酸化膜で絶縁している。その絶縁性を検査するため、定格以上の十分な電圧を様々な条件で印加する検査工程がある。トレンチ形成工程で発生した異物はトレンチ形状異常を引き起こし、電氣的不良の原因となるため、生産性を著しく低下させる。これらの理由から、トレンチ形成工程の異物管理が、IGBTの生産性を向上させるために非常に重要である。

従来、トレンチ形成工程では、装置異物の発生状況を確認するため、装置内に入れたベアウェーハをレーザ散乱式検査装置で検査している。また、製品のインライン検査としては、明視野光学式パターン検査装置を用いた欠陥検査などを行っている。これらの検査で規定数以上の異物や欠陥が検出された場合、パーツの洗浄や交換を定期的に行う。また、エッチングチャンバに堆積する分解・反応生成物を除去するセルフクリーニングなども頻繁に実施し、異物を大幅に抑制している。

4.2 トレンチ工程解析用TEG

製品の製造工程と検査を図5に示す。まず、トレンチ形成工程後のインライン検査で検出された欠陥に対して異物の発生が疑われる工程は、製造プロセスA, B, C, D, トレンチ形成1, 2, 3と多工程にわたる。そのため、複数回の異物発生工程絞り込み実験が必要となり、異物発生工程の特定までの期間が長くなるという課題がある。また、製造プロセスA, B, Cでウェーハ上に形成されたシリコン酸化膜や不純物注入領域のパターン形状や欠陥が、トレンチ形状の明視野光学式パターン検査のノイズ成分となるため、トレンチ形成工程で発生する欠陥をインライン検査で検出する感度が低くなるという課題もある。

これらの課題に対して、図6(a)のような構造のトレンチ工程解析用TEG技術を適用した。

工程解析用TEGは、ショートサイクルで異物が発生す

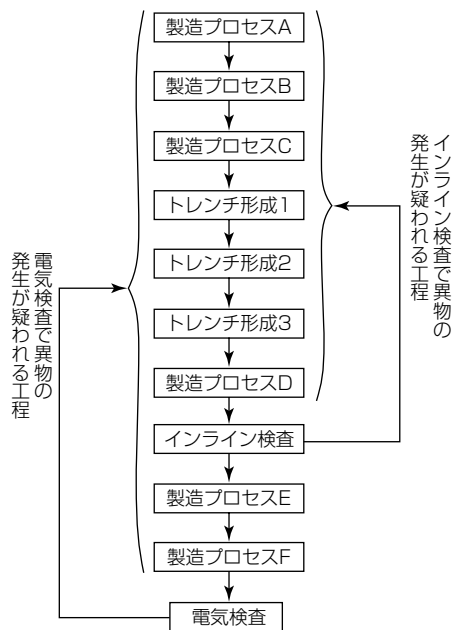


図5. 製品の製造工程と検査

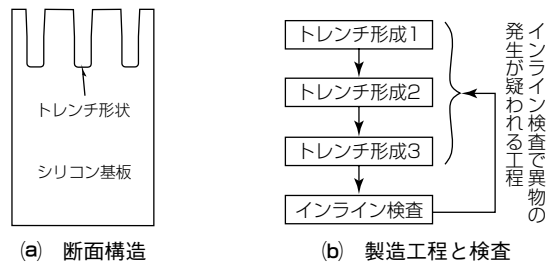


図6. トレンチ工程解析用TEGの断面構造と製造工程及び検査

る装置の特定及び対策を目的としたTEGである。トレンチ工程解析用TEGの作成フローは図6(b)に示したようにトレンチ形成工程のみからなる。

このトレンチ工程解析用TEGの特長は次のとおりである。

- ①製造工期が短い。
- ②検査工程で検出された欠陥に対し異物の発生が疑われる対象工程が少ない。
- ③作り込まれている形状は、トレンチ形状のみであり、インライン検査での欠陥検出感度が高い。

この解析用TEGを活用することによって、トレンチ形成工程での異物発生から製造装置での対策開始までの期間を大幅に短縮できた。

また、トレンチ工程以外に、ポリシリコンパターン形成工程やエミッタ電極形成工程のみを抽出した工程解析用TEGを、それぞれの工程の異物管理に利用している。

5. む す び

パワーエレクトロニクス機器のコアデバイスであるトレンチIGBTの高性能化及び生産性の向上には、トレンチ形

成工程で発生する異物を管理する生産技術が必要であることを述べてきた。

トレンチIGBTで、トレンチピッチは更に微細化が進むとともに、高アスペクト比が必要となる。また、薄ウェーハ化など、LSIとは異なるパワーデバイス特有の縦方向の構造作り込みが、今後ますます必要になると考えられる。

このような高性能パワーデバイスを安定的に製造するため、異物管理技術を中心としたパワーデバイスの生産技術開発に、今後も引き続き取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) マジウムダールゴーラブ, ほか: 環境対策に不可欠なパワーデバイスの技術動向, 三菱電機技報, **84**, No.4, 210~214 (2010)
- (2) Takahashi, H., et al.: Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor(CSTBT) - A Novel Power Device for High Voltage Application -, Proceedings of the 8th ISPSD (1996)
- (3) Tomomatsu, Y., et al.: Characteristics of a 1200V CSTBT Optimized for Industrial Applications, Industry Applications Conference, 36th IAS Annual Meeting (2001)
- (4) Takahashi, T., et al.: CSTBT(TM(III)) as the next generation IGBT, Proceedings of the 20th ISPSD (2008)
- (5) 高橋徹雄, ほか: 新型パワーモジュール用第6世代IGBTと薄ウェーハダイオード, 三菱電機技報, **84**, No.4, 224~227 (2010)