

シリコンビアホールエッチングにおけるテーパ角制御の研究

Study on taper angle control in Silicon via hole etching

○田中 宏幸¹, 徳永 博司², 野沢 善幸³, 速水 利泰³, クンプアン ソマワン^{1,4}, 原 史朗^{1,4,5}
(¹産総研, ²MTC, ³SPP テクノロジーズ, ⁴ミニマルファブ推進機構, ⁵Hundred Semiconductors)

○H. Tanaka¹, H. Tokunaga², Y. Nozawa³, T. Hayami³, S. Khumpuang^{1,4}, and S. Hara^{1,4}
(¹AIST, ²MTC, ³SPPT, ⁴MINIMAL, ⁵Hundred) E-mail: tanaka.hiroyuki@aist.go.jp

【背景・目的】

半導体の製造は、一般にシリコンウェハに回路を作り込む前工程とウェハからチップを切り出してパッケージング（実装）する後工程に大別される。この前工程においては、これまでICチップの性能向上を実現してきた微細加工が物理的限界に近づいている。そのため、高機能化や多機能化を実現するために後工程プロセスが重要視されるようになった。具体的には、ロジックチップやメモリー、アナログデバイス、センサーなどを一つのパッケージに統合して3次元実装することにある。これらの目標を達成する究極のパッケージング技術として期待されてきたのが、シリコン貫通ビア（TSV: Through Silicon Via）技術である。TSV技術による3D ICは、シリコン貫通ビアを電極として上下のシリコン積層ダイをマイクロバンプによって電気的かつ機械的に接続することが可能となる。ただし、その製造は、それほど容易でなく、何より製造コストが掛かることから、TSV技術による3D ICへの移行は、当初の期待どおりに普及していないのが現状である。

ミニマルファブ¹では、TSVを実装の中核構造として位置づけ、TSVの中核技術である深掘り Bosch Process²をミニマルファブでのプロセス開発の最重要課題の一つとしている。我々は、この Bosch Processを用いて250 μ m厚のハーフインチウェハにTSV深掘りエッチング技術の開発を行ってきた³。Bosch ProcessでTSV深掘りエッチングを行うには、Si基板を所望の深さのエッチングまで次工程以降の絶縁層形成やシードスパッタ形成の妨げとならないよう、僅かに順テーパ形状となることが望ましい。

ところが、パッシベーションとエッチングのガス分子置換に不利な、穴が狭くて深い高アスペクト比ビアホール形状の場合、テーパ形状作りは容易でない。また、深掘り Bosch Processは、エッチング進行方向に位置するSi表面にCF系パッシベーション膜が残留した場合、エッチングが全く進行しなくなるか、逆に完全除去された場合、垂直深掘りエッチングとなるか、のどちらかとなる傾向があった。所望のテーパを作り出すには、この境界制御が最も重要であるが、殆どそのプロセスマージン（プロセス条件を変えても所望の結果が得られるプロセス条件の余裕の大きさ、研究レベルではあまり求められないが、実用上は極めて重要）を得ることができなかった。一方、Non-Boschプロセスの場合は、マスク裏面のサイドエッチと対マスク選択比が十分に得られないことによる深掘りの困難さそのものが課題であった。

そこで、この問題に対して、Bosch Process方式でありながらエッチングステップのSF₆にC₄F₈ガスを微量添加させることで、微少なテーパを維持したシリコンビアホールを形成することができた。本稿では、これらのエッチングメカニズムの手法と解析結果を報告する。

【実験結果と考察】

我々が開発したBosch Process装置は、エッチング異方性を高めるためプラズマシース（sheath）を発生させてウェハ基板側からバイアス（2MHz, Vpp 300V）を印加させるSF₆等方性エッチングプロセスと、パッシベーション膜を生成するC₄F₈プロセスが交互に実施される様に構成されている。通常、それぞれのプロセスは、数秒間ずつガスが混じり合わない様に供給され、これを繰り返すことで深掘りエッチングを実現している。これに対して、SF₆を用いるエッチングプロセス中に意図的にパッシベーションのC₄F₈ガスを添加させると、Bosch Processでありながら、僅かながらテーパ角（垂直90°に対して、約89°）がついたビアホールを容易に形成できた（図1a）。Non Bosch Process（図1b）や、メタルマスクを用いたマスク裏面サイドエッチを行うBosch Process^{4,5}は、間口を広げてテーパ形状を作り出す方法である。これに対し、C₄F₈ガス添加 Bosch方式では、マスクを十分に保護しながらサイドエッチを極力抑えられる点で有利である。また、通常の深掘り方式よりテーパを形成するプロセスマージンが大きい。

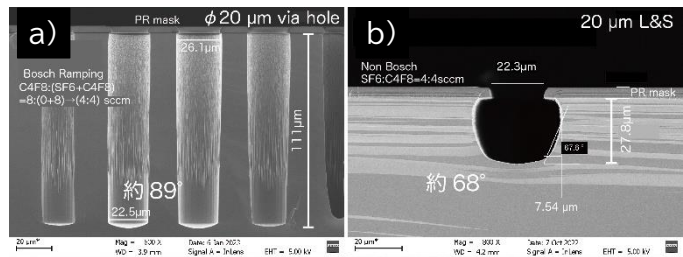


Fig.1 a) Bosch Ramping Etching Process, Press. 10Pa, ICP 40W, C₄F₈: (SF₆/C₄F₈) = 8 : (8/0 → 4/4) sccm, Time = 81 min.

b) Non-Bosch Isotropic Etching Process, Press. 10Pa, ICP 40W, SF₆: C₄F₈ = 4 : 4 sccm, Time = 20 min.

<謝辞>この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業（JPNP12004）の結果で得られたものである。

<参考文献>

- [1] 原 史朗, クンプアン ソマワン, 「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理, 83(5), 380 (2014).
- [2] F. Laermer, A. Schilp, K. Funk, M. Offenberg: "Bosch deep silicon etching: Improving uniformity and etch rate for advanced MEMS applications", Proc. 12th International Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'99), pp. 211-216 (1999).
- [3] H. Tanaka, S. Khumpuang, S. Hara: "Small Plasma Space with a Small Plasma Source and Its Advantage in Minimal Fab", J. Photopolym. Sci. Technol., 32(5), pp.747-752 (2019).
- [4] Zhong Ren, Mark E. McNie: "Inductively coupled plasma etching of tapered via in silicon for MEMS integration" Microelectronic Engineering Vol. 141, 15 June 2015, pp 261-266
- [5] Niclas Roxhed, Patrick Griss, Goran Stemme: "Tapered Deep Reactive Ion Etching: Method and Characterization" The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Lyon, France 10-14 June 2007