SEMI F79-0703
ガス分配コンポーネントに使用されるガスのシリコンとの適合性に関するガイドライン

免責事項:この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

本ガイドラインは，Global Gases Committee で技術的に承認されたもので，North American Gases Committee が直接責任を負うものである。現版は 2003 年 4 月 11 日 North American Regional Standards Committee にて承認されている。2003 年 6 月にまず www.semi.org で入手可能になり，2003 年 7 月発行に至る。

SUPERSEDED

1 目的

1.1 本ガイドラインの目的は，ガスに関わる典型的な条件で動作するガス供給システムの接ガス経路において，シリコンと接触するガスの適合性に関するリソース情報を特定することである。

2 範囲

2.1 記載されている情報および結論は，出版されている文献からとったものである。参考文献を引用する。出版されている結論の有効性については，いかなる見解も提示しない。これらの提案は，自然酸化膜によりカバーされる多結晶または単結晶の高純度のシリコンに特定されるものである。

注意： このスタンダードはその使用に関連した全ての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は，その責任において，適切な安全および健康上の作業方法を確立し，また使用前に規制上その他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限（規定条件）

3.1 本ガイドラインは，代表的な半導体プロセスツール用のガス分配システムに適用される。シリコンは，ガス分配システムのコーティングまたはシリコンベースのコンポーネント（バルブ，オリフィス，センサ，マスフローコントローラ）として接ガス経路内にあるものと仮定する。雰囲気温度と動作温度の限界値は，この業界の代表的なものである。追加のエネルギー源，熱源，放射源，イオン化源は存在しない。このガイドラインの目的により，ガスの水分は指定されず，無水状態であるか否かについて推奨事項が適用される。

4 参照スタンダード

4.1 *SEMI スタンダード*

SEMI E52 — Practice for Referencing Gases Used in Digital Mass Flow Controllers

注意： 別途指示のない場合，引用された全ての文書は最新の出版バージョンである。

5 ガスの分類

5.1 含まれるガスは，SEMI E52 から取ったもので，ガスに割り当てられる番号はその文書内の番号と同じである。

5.1.1 不活性ガス

5.1.2 水素

5.1.3 炭化水素

5.1.4 ハロゲン化炭化水素

5.1.5 水素化物

5.1.6 フッ素以外のハロゲン

5.1.7 フッ化物以外のハロゲン化物

5.1.8 フッ素およびフッ化物

5.1.9 有機金属およびシロキサン

5.1.10 酸素および酸化物と硫化物

5.1.11 窒素および窒化物

5.1.12 酸

5.1.13 その他

6 文献の確認

6.1 *不活性ガス（Inerts）*

6.1.1 引用した参考文献（1，2，3，4，5）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

注:SEMI による書面での了承なき場合は，本書の全部もしくは一部の転載を禁じる。
©Semiconductor Equipment and Materials International (http://www.semi.org/)
©SEMI ジャパン 〒102－0074 東京都千代田区九段南 4－7－15 健和ビル 7 階

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)

6.2　*水素（Hydrogen）*

6.2.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。水素は，1100℃以上の温度でシリコン（75）および炭化珪素（76）と反応すると報告されている。

6.3　*炭化水素（Hydrocarbons）*

6.3.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，55，56）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

6.4　*ハロゲン化炭化水素（Halogenated Hydrocarbons）*

6.4.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，35，51，54，55，56，57，58，59）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。Flamm（55）および Coburn（56）は，広範囲の論文を再調査した結果，ハロゲン化炭化水素を使用したシリコンおよびその他の物質のエッチングに関する多数の参考文献を引用している。ハロゲン化炭化水素を使用したシリコンおよびその他の物質のエッチングの重要な要求条件は，フッ素，塩素，その他のハロゲンのラジカル種である。低圧プラズマは，このラジカルを生成する代表的な方法である。さらに Winters（78）は，「アシストのない」エッチング反応が起こるためには，シリコン表面への吸着に引き続いて，よく定義された 4 つのステップが必要であることを指摘している。それらのステップのどれかが起こらない，あるいは中断されると，エッチングは進まない。

6.4.2　最も広く使用される 2 つのハロゲン化炭化水素は CF_4 および C_4F_8 である。Matheson Gas Book（79）では，CF_4 の化学的性質について次のように述べている。「*4 フッ化炭素は，極めて安定していて，炭素アークの温度でもわずかしか反応しない*」。C_4F_8 については，次のように述べている「*8 フッ化シクロブタンは，極めて安定している。通常の条件下では他の物質と反応しない。高温下（600℃）では，炭素と 4 フッ化炭素，およびいくつかの毒性のある化合物に分解する*」。

6.5　*水素化物（Hydrides）*

6.5.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，64，65，66）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

6.6　*フッ化物以外のハロゲン（Halogens, other than fluorine）*

6.6.1　ハロゲンは，物質の特殊な部類を代表する。分子状態あるいは原子状態の塩素，ヨウ素，臭素は，温度 200℃以下あるいはプラズマのアシストがなければシリコンをエッチングしないと報告されている（19，26，50，55，56，63）。Schwartz（74）は，次のようにコメントしている。「*Cl_2 は，低温で（プラズマ中で）シリコン上に自発的に化学吸着するが，Si と Cl の反応は，$SiCl_4$ を形成するまでは進まない。つまり，高温である場合を除き，シリコンは Cl によってエッチングされない*」。引き続き彼は次のように注意している。「*ただし，高濃度にドープされたシリコンを除き，反応性イオンエッチングシステムにより低温でエッチングが起こる。しかしこれは，Cl が吸着しやすいということが理由ではなく，部分的に反応したシリコンを容易にスパッタリングできるということが理由である*」。そして，Schwartz は，ウェーハにカソードバイアスがない場合には，Cl_2 プラズマ中に 30 分間置いても認知できるエッチングは起こらなかったが，逆にバイアスを印可すると 4.5 ミクロン除去されたという観察結果を報告している。

6.6.2　Flamm（55）が 1981 年に出版した「The Design of Plasma Etchants（プラズマエッチャントの設計）」では，次のように記載されている。「*塩素を含むハロゲン化炭素の供給ガスは，（反応前の）危険性がないし，腐食性ではなく，（塩素原子に加えて）プラズマ中で分解して何らかの所望の効果を引き起こすラジカルを生成するので，Cl_2 に代わってよく使用されている*」。この文章は，プラズマベースのシステムに適用される。つまり，彼は，プラズマ中の Cl_2 または Br_2 だけでシリコンをエッチングすることの困難さを指摘している。彼は，Wang と Maydan（1979 年の私信による）が，0.05 Torr 以下の圧力の純粋な Cl2 プラズマ中でシリコンをエッチングしたと指摘している。

6.6.3　引き続き Flamm は，次のように言っている。「*塩素と臭素の原子は SiO_2 やドープされていない単結晶シリコンを自発的にはエッチングしないが，何らかの形態の多結晶シリコンおよび n 型のドープ量の多い単結晶シリコンと多結晶シリコンをエッチングするものと思われる*」。

6.6.4　ここでの結論は，たとえプラズマの Cl_2 と Br_2 であってもシリコンをエッチングするには非常に特殊な条件が必要だということである。

6.7　フッ化物以外のハロゲン化物（Halides, Other Than Fluorides）

SUPERSEDED

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)

6.7.1　気体の HCl，HBr，HI の混合物は，規定条件下ではシリコンをエッチングしない（1，2，3，4，5，62）。しかし，HBr や HI の水溶液の条件では，シリコンのわずかな孔食が観察されることがある（5）。ラボテスト（10）では，HBr の 50 %水溶液に 45 日間浸漬してもシリコンの反応は認められなかった。

6.7.2　シリコンに対する塩素，臭素，ヨウ素のハロゲン化物の反応性の欠如の 1 つの理由は，反応生成物の蒸気圧が低いことである。$SiCl_4$ の沸点が最も低く 57℃，$SiBr_4$ では 154℃，SiI_4 では 286℃である。一方，SiF_4 の沸点は，–86℃である。この低い蒸気圧と無反応性の実用上の利点は，Texas Instruments 社の RIE エッチングに関する特許において実証された（24，25）。他のガス中に HBr，HI，BCl_3 を制御しながら添加すると，シリコンの側壁に $SiBr_4$ 等の不動態薄膜が生成され，垂直な壁のエッチングが可能となった。

6.7.3　ガス流中の水分は，ほとんどの物質の耐腐食性について重要な要因となり得る。代表的なステンレス鋼の耐腐食性は，H_2O の存在量に強く依存し，ハロゲンやハロゲン化物中の水分量が 1ppm を超えると急速に低下する（6，9，10，72）。Paciej（72）は，HCl 中に 0.1 ppm の水分があっても 316L ステンレス鋼は影響を受けないが，HCl 中に 200 ppm の水分があると，この材料の表面は著しく腐食すると報告した。Fine（9）は，10 日間のテストで，0.5 ppm および 100 ppm の水分を含んだ HBr 中の 316L ステンレス鋼について同様な挙動を指摘している。

6.7.4　しかし，シリコンの耐腐食性は，水分の含有量は，水溶液までも含めて実質的に影響されない。「RCA クリーン」（67）および従来の湿式エッチング（60，68，69）は，その明白な例である。

6.7.5　$SiCl_4$，SiH_2Cl_2 等のシリコンベースのハロゲン化物が規定条件下でシリコンと反応するとは報告されていない（55）。

6.8　*フッ素およびフッ化物（Fluorine and Fluorides）*

6.8.1　フッ素（F_2）および原子状態のフッ素 F は，室温でシリコンを腐食することは文書化されている（19，22，26，42，49）。

6.8.2　Chen（49）は，クリーニングされた新鮮なシリコンに室温でフッ素ガス（F_2）を適用した。そして，5 sccm の F_2 流量，圧力 2.3 Torr でのエッチングレート，約 100 Å／分を測定した。また，彼はエッチング開始までに 2～3 時間，エッチングされずに潜伏したことに注目し，著者らは，この潜伏期間の原因について推測している。

6.8.3　Flamm（42）および Vasile（22）は，原子状態のフッ素のシリコンとの反応に関わる機構について詳述したいくつかの論文を書いている。Flamm のデータにより，原子状態のフッ素によるシリコンのエッチングレートについて次の関係が導かれた。

6.8.4　$R(Si) = 2.91*10^{-12}*n_F T^{1/2} e^{-E_{etch}/kT}$　ここで，E_{etch} は，0.108 eV で与えられる。$n_F = 2.9*10^{15}$ atoms/cc では，エッチングレートは 25℃で約 3,000 Å／分であると報告されている。

6.8.5　Flamm は，少なくとも 3.8 W の高周波放電を使用して F_2 から F を生成した。Vasile は，熱分解を使用して F_2 から F を生成した。彼は，800℃で 47 %の分解量を測定し，650℃以下では無視できる量であった。

6.8.6　また，Flamm（55）は，原子状態のフッ素による SiO_2 のエッチングレートについても同様な関係を報告している。$R(SiO_2) = 6.14*10^{-13}*n_F T^{1/2} e^{-E_{etch}/kT}$　ここで，E_{etch} は，0.163 eV で与えられる。

6.8.7　Flamm（55）は，次のように述べている。「*原子状態のフッ素は，すべての形態のシリコン，SiO_2，窒化珪素と自発的に反応し，揮発性の化合物を生成する*」。

6.8.8　Ibbotson（19）は，外部エネルギー源を必要としない潜在的なエッチングプロセスについて検討した。「*XeF_2 がシリコンをエッチングするのと同様に，気相のフッ化ハロゲン ClF_3，BrF_3，BrF_5，IF_5 によってシリコンは急速にエッチングされる。逆に，ClF および NF_3，BF_3，PF_3，PF_5 等の III 属と V 属のフッ化物は，同じ実験条件で Si や SiO_2 を自発的にエッチングしない*」。

6.8.9　Winters（21）および Ibbotson（20）は，XeF_2 は，SiO_2 をエッチングしないと報告している。酸化物の添加の有無に関わらず，シリコンを 200℃未満の温度で自発的に原子状態のフッ素に分解する可能性がある F_2，XeF_2，ClF_3，フッ素を含むその他のハロゲン間化合物と共に使用することは推奨されない。

6.8.10　上記の Ibbotson の論文から引用すると，反応性のガスリストから除外された NF_3，BF_3，PF_3，PF_5 等の化合物は，プラズマ，高周波源（19）のアシストあるいは 200℃以上の必要な温度でなければ（1，35，37，38），Si や SiO_2 をエッチングしないと報告されている。

SUPERSEDED

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)

6.8.11　電離したフッ素原子，F^-は，規定条件下ではシリコンと反応しないと報告されている（1，2，3，4，5，19，64，65，66）。これに対するさらなる証拠は，フッ素を含むプラズマ中に H_2 を添加するとエッチングレートが低下するという事実である（55）。想定されている機構は，活性種としての F 原子の除去である。

6.8.12　SF_6,等，200℃未満では原子状態のフッ素に自発的に分解しないその他のフッ素化合物は，反応源ではない（33，34，52，53，55）。

6.8.13　WF_6 は，特殊な場合である。WF_6 によるタングステンフィルムの CVD については多数の論文が出版されている（41，43，44，45，46，47）。主な機構を 2 つ引用すると，シリコンによる WF_6 の還元および H_2 の存在による熱分解である。Yarmoff の論文（43）では次のように述べている。

「室温においても，Si（111）への WF_6 の分解化学吸着は完全であると判明した。反応は，室温で自発的であるが，WF_6 から遊離したフッ素が分解の原因となる活性状態の Si 部位と結合するからである」。

6.8.14　Tsao（41）は，410℃において，わずか 200 Åの W が WF_6 から厚さが 5～15 Åの酸化層がある単結晶シリコン上にデポジットされると報告している。C.A. van der Jeugel（46）は，タングステン薄膜の自己制限成長に関するドーピングレベルの影響について記述している。それは，水素の添加やなんらかの起動機構無しでは，WF_6 は SiO_2 にデポジットしないと記載されている（44，45，47）。

6.8.15　デバイス内の WF_6 の選択的デポジット特性を使用して，Fleming ら（48）は，タングステンの耐摩耗性コーティングを生成する技法について特許をとった。彼らの発明には，「清浄な」表面と 200℃以上，できれば約 450℃の温度が必要であり，そこで，WF_6 にさらせば 5～50 nm の自己終端薄膜が得られる。

6.8.15.1 Zdunek（80）は，保護されていないシリコン表面を 80℃で 5 日間，WF_6にさらしても「劣化がないこと」を示す電気化学的研究結果を報告した。Cl_2 ガスについても同様な結果が観察された。

6.8.16　興味深いことに，ステンレス鋼，アルミニウム，ニッケルのような金属は，適切な不動態化処理中に，原子状態のフッ素にさらされるとそれらに対応するフッ化物の耐腐食性被膜が生成する（14，23，27，28，29，30，31，32，35，39，40）。

6.8.17　チタン，モリブデン，タングステン，真鍮，コロンビウムについては，原子状態のフッ素に分解する ClF_3のようなガスにさらされると容認できないと報告されている（27，32）。

要約すると，フッ素，F_2，ハロゲン化フッ化物，ClF_3，BrF_3，BrF_5，IF_5 および XeF_2 が使用される場合，接ガス経路でシリコン，二酸化珪素，窒化珪素を使用しないように推奨されるということである。

6.9　*有機金属およびシロキサン（Organo-metallic and Siloxanes）*

6.9.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，64，65，66）では，これらの化合物が規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

6.10　*酸素，酸化物，硫化物（Oxygen and Oxides and Sulfides）*

6.10.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，64，65，66）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

6.11　*窒素および窒化物（Nitrogen and Nitrogen Compounds）*

6.11.1　引用した参考文献（1，2，3，4，5，64，65，66）では，これらのガスが規定条件の下ではシリコンと反応しないことを示している。

6.12　*酸（Acids）*

6.12.1　HF の水溶液が，シリコンをエッチングすると報告されている唯一の単一の酸である（70）。水溶液中で HNO_3 等の酸化性の酸とフッ素イオンを組み合わせると，実用的な速度でシリコンをエッチングする（5，54，60，64，65，66，67，68，69）。

6.12.2　Madou（70）は，水溶液ベースのエッチングに必要な機構について優れた再検討を行った。彼は，Hu および Kerr（72）を引用し，25℃の 48%の HF 水溶液内の n 型の 2 Ω cm（111）のシリコンにおいて 0.3 Å／分のエッチングレートを報告した。Madou は，ドーピングレベル，光の条件，相対電位に対する水溶液中のエッチングレートの強い依存性を指摘した。

注 1:　ほとんどのベースは，シリコンとシリコン酸化物をエッチングするが，酸化物のエッチングは非常に遅い。

6.13　*その他（Other）*

SUPERSEDED

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)

6.13.1　現在の指定において典型的な条件では，SEMI E52-0302 の物質は，マスフローコントローラと接触することはない物質である。メーカーと協議しなければならない。

7 注意および警告

7.1　読者は特に，いかなるガスや液体でも使用前に MSDS およびメーカーが推奨する使用方法を調べる必要があり，規定されている提案に従う必要がある。

7.1.1　同様に，その他の適切な安全手順も守らなければならない。

8 関連文書

8.1　K. Williams and R. Muller. “Etch Rates for Micromachining Processing.” IEEE J. Microelectromech. Syst., Vol. 5, No. 4, pp. 256-269, Dec. 1996.

8.2　H. Jansen, et al. “A Survey on the Reactive Ion Etching of Silicon in Microtechnology.” J. Micromech. Microeng. Vol. 6, pp. 14–28, 1996.

8.3　G. Eriksen and K. Dyrbye. “Protective Coatings in Harsh Environments.” J. Micromech. Microeng. Vol.6, pp. 55–57, 1996.

8.4　H. B. Pogge, ed. “Electronic Materials Chemistry.” Marcel Dekker, NY, 1996.

8.5　P. Walker and W. Tarn, ed. “CRC Handbook of Metal Etchants.” CRC Press, Boca Raton, FL, 1991.

8.6　E. Flaherty, et al. “Reducing the Effects of Moisture in Semiconductor Gas Systems.” Solid State Technology, pg. 69, July 1987.

8.7　S. M. Fine, et al. “Optimizing the UHP Gas Distribution System for a Plasma Etch Tool.” Solid State Technology, pg. 69, March 1996.

8.8　M. George, et al. “Minimizing System Contamination Potential from Gas Handling.” Semiconductor International.

8.9　S. M. Fine, et al. “The Role of Moisture in the Corrosion of HBr Gas Distribution Systems.” Jl.E.C.S., 142; No. 4; 1269, April 1995.

8.10　P. M. Bhadha, et al. “Joule-Thomson Expansion and Corrosion in HCl Systems.” Solid State Technology, pg. S3, July 1992.

8.11　T. Ohmi. “Corrosion-free Cr_2O_3 Passivated Gas Tubing System for Specialty Gases.” Solid State Technology, pg. S18, October 1995.

8.12　G. Bitko, et al. “Analytical Techniques for Examining Reliability and Failure Mechanisms of Barrier Coating Encapsulated Silicon Pressure Sensors Exposed to Harsh Media.” Proc. SPIE, 2882; 248–258, 1996.

8.13　O. Hallberg, et al. “Recent Humidity Accelerations, A Base for Testing Standards.” Proc. Quality and Reliability International Conf., 7, 169–180, 1991.

8.14　M. A. George, et al. “Compatibility of 316L Stainless Steels and Tungsten Hexafluoride.” presented at: Tungsten and Other Refractory Metals for ULSI Applications, Dallas, TX, October 1990.

8.15　S. Lau, et al. “Performance of Diaphragm Valves in Chlorine.” Solid State Technology, pg. S21, June 1997.

8.16　P. B. Henderson, et al. “Cylinder Package Effects on the Purity of Electronic Specialty Gases.” Solid State Technology, pg. S5, June 1997.

8.17　H. Kobayashi. “How Gas Panels Affect Contamination.” Semiconductor International, 81, Sept. 1994.

8.18　A. K. Henning, et al. “Contamination Reduction Using MEMS-Based, High-Precision Mass Flow Controllers.” Presented at SEMICON West, SEMI, 1998.

8.19　D. E. Ibbotson, et al. “Plasmaless Dry Etching of Silicon with Fluorine-Containing Compounds,” J. Appl. Phys. Vol. 56 (10), pp. 2939–42, 1984.

8.20　D. E. Ibbotson, et al. “Appl. Phys. Lett.” Vol. 44 (12), pp. 1129, 15 June 1984.

8.21　H. F. Winters, et al. “The Etching of Silicon with XeF_2 Vapor.” J. Appl. Phys. Lett., Vol. 34 (1), pp. 70, 1 January 1979.

8.22　M. J. Vasile, et al. “Reaction of Atomic Fluorine with Silicon: The Gas Phase Products.” J. Appl. Phys., 53 (5), 3799, 1982.

8.23　*ES and H Manual: Volume 2, Part 14: Chemical, 14.6, The Safe Handling of Fluorine*. Environment, Safety, and Health. UCRL-MA-133867, April 1, 2001 <http://www.llnl.gov/es_and_h/hsm/doc_14.06/doc14-06.html>.

8.24　M. A. Douglas. “Trench Etch Process for a single-wafer RIE Dry Etch Reactor.” U.S. Patent 4784720; Nov. 15, 1988.

8.25　M. A. Douglas. “Trench Etch Process for a single-wafer RIE Dry Etch Reactor.” U.S. Patent 4855017, Aug. 8, 1989.

8.26　W. C. Tian, et al. “Comparison of Cl_2 and F-Based Dry Etching for High Aspect Ratio Si Microstructures Etched With an Inductively Coupled

SUPERSEDED

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)

Plasma Source." J. Vac. Sci. Technol. B 18(4), Jul/Aug 2000; 1890.

8.27 J. C. Grigger, et al.. "Effect of Chlorine Trifluoride and Perchloryl Fluoride on Construction Materials." Materials Protection, pp. 53, September 1964.

8.28 Air Products and Chemicals, Inc. "Recommended Passivation Procedure for Reactive Fluorides." Pub. # 320-9460, August 1994.

8.29 T. Mebrahtu, et.al. "SEM and XPS Characterization of the Carbon Steel Surface Passivation Film in Anhydrous HF Media." Corrosion 95, The NACE Int'l Annual Conference.

8.30 R. L. Farrar, Jr. "Safe Handling of Chlorine Trifluoride and the Chemistry of the Chlorine Oxides and Oxyfluorides." Union Carbide Nuclear Company, Oak Ridge, TN, Nov. 11, 1960; K1416.

8.31 A. Zdunek, et.al. "Chlorine Trifluoride(ClF_3) Passivation of Stainless Steel Tubing." Air Liquide, internal memo.

8.32 A. P. Taylor, et al. "Interaction of ClF_3 with Metal Alloys and Polymer Gaskets." Semiconductor International, 201, July 1999.

8.33 R. Duguid, et.al. "Compatibility Study of a Waferpure Reactive Micro Matrix Material with SF_6." Application Note, Millipore Corp. 3/25/99; <http://millispider.millipore.com/micro/miegas/MA019.htm>.

8.34 Compressed Gas Association, Inc. "Handbook of Compressed Gases." Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

8.35 C. J. Gugliemini, et al. "Properties and Reactivity of Chlorine Trifluoride." Semiconductor International, June 1999.

8.36 Air Products and Chemicals, Inc. "Chlorine Trifluoride Technical Data, Safety and Handling." Pub.# 320-9711.

8.37 Air Products and Chemicals, Inc. "Nitrogen Trifluoride Reactivity, Environmental and Toxicological Data." 1993.

8.38 Air Products and Chemicals, Inc. "Nitrogen Trifluoride Material Safety Data Sheet." Pub.# 320-801 Rev 1/96.

8.39 M. Maeno, et al. "Fluorine-Passivated Electroless Ni-P Films." Jl.E.C.S., 141, No. 10, Oct. 1994, 2649.

8.40 A. L. Cabrera, et al. "Surface Analysis of Copper, Brass and Steel Foils Exposed to Fluorine Containing Atmospheres." Jl.Vac. Sci.Tech., A 8 (6); Nov./Dec.. 1990, 3988.

8.41 K.Y. Tsao, et al. "Low Pressure Chemical Vapor Deposition of Tungsten on Polycrystalline and Single-Crystal Silicon Via the Silicon Reduction." Jl.E.C.S, 131 (11), Nov. 1984, 2702.

8.42 D. L. Flamm, et al. "The Reaction of Fluorine Atoms With Silicon." Jl.Appl.Phys., 52(5), May 1981, 3633.

8.43 J. A. Yarmoff, et al. "Mechanism for Chemical-Vapor Deposition of Tungsten on Silicon From Tungsten Hexafluoride." Jl.Appl.Phys., 63(11), June 1988, 5213.

8.44 J. R. Creighton. "A Mechanism for Selectivity Loss During Tungsten CVD." Jl.E.C.S., 136 (1), Jan. 1989; 271.

8.45 A. Kepten, et al. "Studies of the Possible Reaction of WF_6 with SiO_2 and Si_3N_4 at Several Temperatures." Jl.E.C.S., 139 (8), Aug. 1992, 2331.

8.46 C. A. van der Jeugd, et al. "The Effect of Doping Atoms on the Kinetics of Self-Limiting Tungsten Film Growth on Silicon by Reduction of Tungsten Hexafluoride." Jl.E.C.S., 142 (4), April 1995, 1326.

8.47 Ph. Lami, et.al. "Evaluation of the Selective Tungsten Deposition Process for VLSI Circuit Applications." Jl.E.C.S., 135 (4), April 1988, 980.

8.48 J. G. Fleming, et.al. "Tungsten Coating for Improved Wear Resistance and Reliability of Microelectromechanical Devices." U.S. Patent 6290859, Sept. 18, 2001.

8.49 M. Chen, et al. "Etching Silicon with Fluorine Gas." Jl.E.C.S., 126 (11), Nov. 1979, 1946.

8.50 Z. H. Walker, et al. "Kinetics of the Reaction of Molecular Bromine with Doped Polycrystalline Silicon." Jl.E.C.S., 138 (10), Oct. 1991, 3050.

8.51 L. M. Ephrath, et al. "Parameter and Reactor Dependence of Selective Oxide RIE in CF_4 + H_2." Jl.E.C.S., 129 (10), Oct. 1982, 2282.

8.52 K. M. Eisele. "SF_6, a Preferable Etchant for Plasma Etching Silicon." Jl.E.C.S., 128 (1), Jan. 1981, 123.

8.53 T. Syau, et al. "Reactive Ion Etching of Silicon Trenches Using SF6/O2 Gas Mixtures." Jl.E.C.S., 138 (10), Oct. 1991, 3076.

8.54 S. Wolf, et al. Silicon Processing for The VLSI Era. Lattice Press, 1986; ISBN 0-961672-3-7.

8.55 D. L. Flamm, et al. "The Design of Plasma Etchants." Plasma Chemistry and Plasma Processing, 1 (4), 1981, 317.

SUPERSEDED

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: SEMI F79-0703 (Japanese)