

半導体露光装置用光学材料

(1980年代後半～現在)

Key-words：半導体集積回路、石英ガラス、蛍石、スキャナー、エキシマレーザー

注1 Excited Dimer Laserの略。強いエネルギーの紫外線レーザーが得られることが特徴。

注2 逐次移動式露光装置のこと。露光と移動（アライメント）を繰り返しながら、大口径ウエハーにICを焼き付けていく。

現代社会における我々の生活は、半導体集積回路（IC）なしでは考えられない。さらに高度なICを開発・製造し続けていくためには、半導体露光装置も進化していかなければならない。具体的には、集積回路をより高い解像度で精密に焼き付けるため、露光波長の短波長化が進行している。現在、最先端の半導体デバイス製造に使用される装置にArFエキシマレーザー^{注1)}（193nm）が用いられている。精密な光学機器に用いられる光学ガラスは、この波長領域では光を十分に透過しないために使用することはできない。このような最先端の半導体露光装置のレンズ用光学材料としては、短波長における透過率が非常に高く、耐久性も良い石英ガラス、蛍石が採用されている。これらは、光を用いた半導体集積回路製造技術において、必要不可欠な光学材料といえる。

1. 製品適用分野

半導体集積回路製造用露光装置。

2. 適用分野の背景

半導体集積回路（IC）は、私たちの身の回りで使われているほとんど全ての通信機器や家電に用いられている。ICのない生活は成立しないとんでも過言ではない。情報通信環境が高度化し、取り扱う情報量が年々大きくなっていく中、ICに対してもさらに高い集積度が求め続けられる。

ICの高集積度化を実現するためには、回路パターンを焼き付ける光リソグラフィーの解像度を高める必要がある。焼き付けるときに用いる光の波長（露光波長）を短くすることが、最も有効な手段の一つである。半導体露光装置の主流であるスキャナー^{注2)}の内部構造を図1に示す。心臓部である投影レンズは、高精度な投影を可能とするため、全長1m以上、レンズ枚数は

20枚以上となる。

図2に、半導体露光装置の露光波長の変遷と、投影レンズに用いられる光学材料の透過率を示す。1970年代後半、露光波長はg線（436nm）であり、投影レンズ用材料としては光学ガラスが使用されていた。しかし、短波長化が進み、1980年代後半から採用されたKrFエキシマレーザー（248nm）以降では光学ガラスが使用できない領域となった。図2に示すように、光学ガラスでは、レーザー光を十分に透過できなかったのである。最新のIC製造を可能とするためには、エキシマレーザー波長領域における透過率が非常に高い、石英ガラスと蛍石が必要不可欠であった。

3. 製品の特徴と仕様

投影レンズ用材料において最も重要な特性は、露光波長における高い透過率である。石英ガラス、蛍石ともに、1cmあたりの透過率は99.8%以上を実現して



図1 スキャナーの内部構造（概略図）

スキャナーの心臓部は、中央に位置する投影レンズ。図からはわかりにくいですが、全長1m以上、レンズ枚数は20枚を超える。分解能は、初期のg線量産機では1 μ mであったのに対し、最新のArF量産機では38nm（0.038 μ m）の線幅にまで対応している。

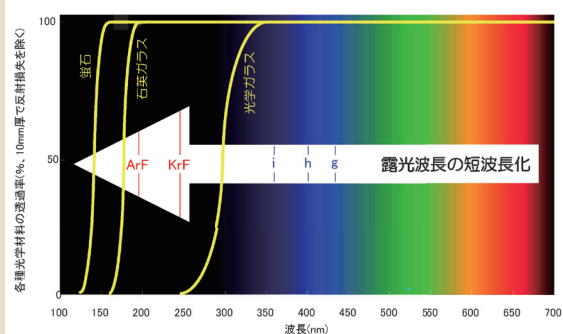


図2 露光波長の変遷

ステッパー/スキャナーの露光波長は、g線から始まり、現在の主流はArF。KrFより短い波長では、光学ガラスは使用できない。（g線：436nm、i線：365nm、KrF：248nm、ArF：193nm）

いる。この性能を実現するためには、問題となる不純物の濃度を ppb (10^{-9}) 以下のオーダーで管理することが必要となる。また、強いエネルギーを持つエキシマレーザー光を照射しても、長期に渡って劣化することは許されない。

図3に投影レンズ用石英ガラスを示す。写真からも分かるように、レンズの最大外形は300mmを超える。このような大きな材料を、非常に高いレベルで均質(屈折率、透過率)に製造しなければならない。

4. 製法^{1), 2)}

投影レンズ用石英ガラスの代表的な製造方法の一つに、「酸素水素火炎加水分解法」がある。純度の高いシリコン化合物(SiCl_4 等)を出発原料とし、図4に示した装置で製造する。この製法は、ガラスの合成面が火炎で保護されているために周囲からの汚染が少なく、ガラスと接する容器も使用しないため、極めて不純物の少ないガラスを合成することができる。また、ガラスを前後、左右に揺動しながら合成するため、均質性の高いガラスを得ることができる。最終工程として、歪を取り除いてさらに高品質なレンズ材料とするために徐冷を行う。

投影レンズ用蛍石の代表的な製造方法は、「ブリッジマンーストックバーガー法」である。この方法は、高温部と低温部に分かれた結晶育成炉を用いて製造を行う(図5)。まず、出発原料であるフッ化カルシウムをるつぼ内に仕込み、高温部(フッ化カルシウムの融点以上)で融液とする。その後、るつぼを低温部(融液が固化する温度)へゆっくりと移動することにより、下部より結晶を成長させる。結晶が

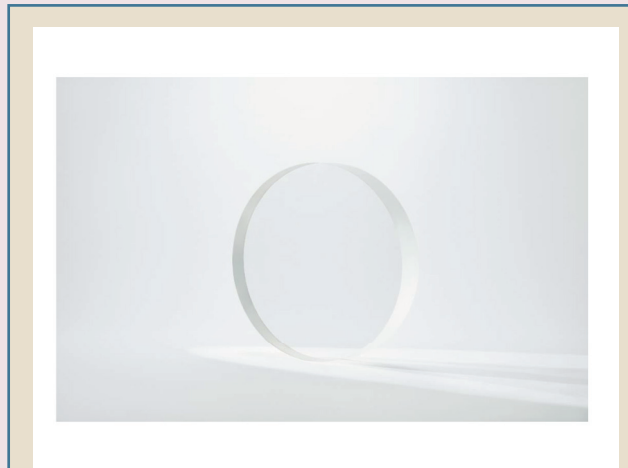


図3 投影レンズ用石英ガラス

投影レンズ用石英ガラスの最大外径は、300mmを超える。このサイズで高品質な材料を製造しなくてはならない。

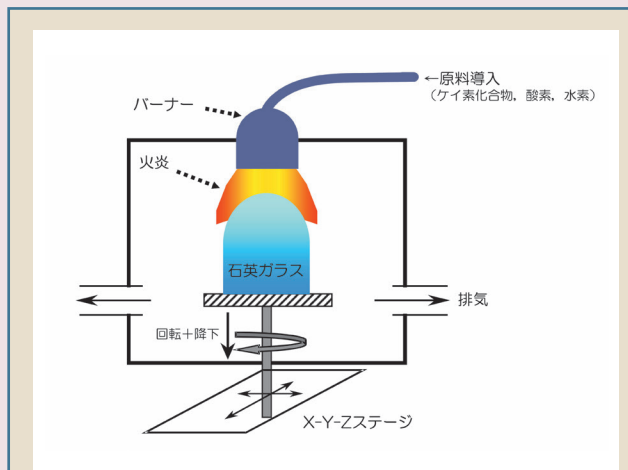


図4 石英ガラスの製造方法

酸素水素火炎加水分解法。原料をバーナーの火炎の中へ導入し、加水分解反応+高温熔融で石英ガラスを合成していく。

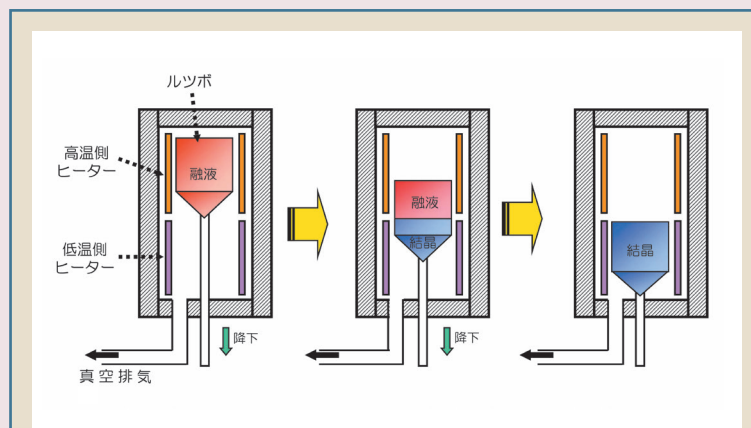


図5 蛍石の製造方法

ブリッジマンーストックバーガー法。高温部から低温部へるつぼを引き下げ、下部から結晶を成長させていく。

成長する過程で、不純物を追い出す現象（偏析）があるため、非常に純度の高い結晶を得ることができる。その後、石英ガラスと同様な目的で、徐冷を行う。

これらの過程を通じて製造された石英ガラスと蛍石は、精密な物性測定と厳密な品質検査を経て、最終的な投影レンズ用光学材料として完成する。

5. 将来展望

半導体露光装置の投影レンズに用いる石英ガラス、蛍石を製造する技術は、既に高いレベルで確立されている。しかし、投影レンズの光学設計者から要求され

る品質や特性はさらに高度になってきており、光リングラフィーが続く限り、より一層の開発・改善努力が必要である。また、製造の高効率化によるコストダウンも、常に大きな命題である。

文献

- 1) 神保宏樹, *NEW GLASS*, **14**, No.3, 41-46 (1999).
- 2) 水垣勉, *マテリアルインテグレーション*, **17**, No.11, 55-59 (2004).

[連絡先] 新坂俊輔
(株)ニコン・生産本部
神奈川県相模原市南区麻溝台 1 - 10 - 1