



## 半導体露光用光源開発に身を置いて…

溝口 計<sup>†1</sup>

### Thinking About Light Source Development for Microlithography

Hakaru MIZOGUCHI<sup>†1</sup>

私が半導体露光用光源の開発に身を置いて、いつのまにか25年にもなる。ギガフォトン社が創立されてからでもすでに14年が経った。この間の半導体露光用レーザー光源成立の時代経緯を振り返ると、KrFエキシマレーザーの狭帯域化技術と単色投影光学系のコンセプトが1980年代後半(1987~88年頃)に日本で誕生してから30年、250 nmノードの日本の量産工場に世界で初めてKrFエキシマレーザーが大量導入された1990年代後半(1997年頃)から数えて18年が経過し、現在では量産ベースの半導体の加工精度も250 nm(KrF)から32 nm(ArF+液浸+マルチパターンニング)に進歩した。一方で研究開発ではKrF(248 nm)以降の光源の短波長化の挑戦がArF(193 nm)、F<sub>2</sub>(152 nm)、LPP-EUV光(13.5 nm)と、日本でも官民あげて連綿と行われてきた。現在世界では、さらなる短波長化(≦13.5 nm)に向けFEL-EUV光の可能性も検討され始めている。

この25年間にビジネスおよび研究開発の主役は大きく変遷を遂げてきた。すなわち、1990年代のKrFエキシマレーザーの頃は日本半導体業界の全盛時代で日本の民間ベースで研究開発から量産化までが進められた半導体プロセス、露光装置は日本メカ主導で実用化された。残念ながら光源は米国メカが主導していたが、自分が属するグループは1985年頃からコマツ研究本部で民間の資金で開発を行い、1997年にコマツ小山工場に本格工場を建設し事業開始した。この時期の経緯については拙著<sup>1)</sup>に詳しいので興味を持たれた向きは、参照願いたい。

2000年以降のArFエキシマレーザー~液浸ArFは米国SEMTECH、欧州IMECが活動を開始した時期で日米欧の3極でのコンソーシアムおよび民間が混在し研究開発、量産化がすすんだ。この時期には、アジアの半導体メカと欧州の露光装置メカの躍進が顕著になった。光源ビジネスの方は2000年以降はコマツ・ウシオ電機の合弁会社ギガフォトン社を創立した。一方で研究開発の方は1997年からの5年間は、特に目まぐるしく研究開発のテーマが錯綜した。ArFエキシマ光源の研究を民間露光装置メカベースでスタートすると同時に、日本のコンソーシアムASETでもスタートした(1998年頃)。また2000年にはSEMTECH中心にF<sub>2</sub>レーザー開発の機運が高まり、国内でもNikon、Canon、ウシオ電機、コマツで経産省プロジェクトがスタートした。しかし2002年にはF<sub>2</sub>レーザーリソグラフィを凌ぐ解像力の液浸露光がNikonの提案で急浮上した。ギガフォトンはF<sub>2</sub>リソグラフィ向け光源技術として開発していたインジェクションロック技術をArF露光用光源に転用し、競争力の高いArFエキシマレーザーの製品化に成功した。その結果米国メカの一社独占に風穴をあけ半導体露光用エキシマレーザーの世界シェア10%から50%へと大躍進を遂げた<sup>1)</sup>(2003~2007)。

その先のPost-ArFのEUV光源の研究開発は世界的には2000年頃にスタートし、欧米のコンソーシアムが活発化し次第に世界をリードした。ビジネスの世界ではアジアの半導体メカが台頭した。彼らは量産技術に特化して、欧米の技術開発コンソーシアムをユーザーとして資金面で支えている。最近LPP-EUV露光装置では光源出力を40 Wまで出力を上げIBM、TSMCなどの工場では600枚/日の生産性実験を成功させ<sup>2)</sup>、量産への導入が世界で始まろうとしている。日本では2003年に研究組合EUVでEUV光源開発プロジェクトがスタートし、ギガフォトンは最初から将来性を見越し、一貫してLPP-EUVの開発をすすめてきた。2002年から最初7年間はEUVの下で研究を行い、2009年からは民間で実用化開発を進めてきた<sup>2)</sup>。現在は国内コンソーシアムEIDECとも連携し活動している。

ここまでの歩みを辿ると短波長化に伴って光源開発が難しくなるに従い、開発費、研究期間が増大し研究開発資金の調達戦略が非常に重要であった。これまでNEDO、経産省、文科省の要所での短期の目的達成型プロジェクトでのサポートのおかげで、ギガフォトンはここまで技術開発を進めることができた。関係機関の皆様には本当に感謝している。

<sup>†1</sup> ギガフォトン(株) 代表取締役副社長(兼)CTO (〒323-8558 栃木県小山市横倉新田400)

<sup>†1</sup> Gigaphoton Inc. Executive Vice President & CTO, 400 Yokokura-shinden, Oyama, Tochigi 323-8558

<sup>†2</sup> URL: <http://electroiq.com/euv1-focus/2014/07/29/new-benchmark-established-for-euv/>

<sup>†3</sup> URL: <http://www.jst.go.jp/coi/site/site.html>

しかしながら拙稿でも述べてきた自分自身の25年に渡る国際的な技術開発競争の経験から、「長期戦を戦い勝ち続けられる技術立国日本」を実現するためには、先を見た戦略がこれまで以上に重要となることは論を待たない。最近、国を中心に長期的戦略を重視したプログラムがいくつかスタートしているが、その一つである文科省COI (Center of Innovation) プログラムの「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」にギガフォトンも昨年から参画させていただいている<sup>13</sup>。世界で凌ぎを削る技術開発の流れにアカデミズムも巻き込んで勝てる新技術を創造すると共に、そのプロセスを通じて若い人材の育成に資するReproducibleなコンセプトが重要であると感じ、先づ隗より始めるべく手探りながらも活動を始めている。

#### 参考文献

- 1) 溝口 計：最近の展望「半導体露光用エキシマレーザー・EUV光源の現状と将来」応用物理学会誌2010年6月号
- 2) 東口 武史, 藤岡 慎介, 砂原 淳, 柳田 達哉, 溝口 計：「EUV露光光源の研究開発の現状」レーザー研究 **42** (2014) 14.