

# エキシマレーザー— 誕生40周年を迎え、ますます好調

ルドルフ・ヘルプスト

誕生してからすでに40年。今なおエキシマレーザーは比類なき高出力UV / DUV光源として非常に重要ないくつかの応用で、重宝されている。

商用エキシマレーザーは40年前、ラムダフィジック社(Lambda Physik、現在の米コヒレント社)によって初めて発表された。その開発者であるベルンド・ステイヤー氏(Bernd Steyer)とダーク・バステイング氏(Dirk Basting)はともに化学者で、光化学と色素レーザー励起用の光源を開発することを主な目的としていた。ラムダフィジック社は、エキシマレーザーを市場に投入すると同時に、この強力な短波長紫外線(UV: ultraviolet)光源を他の用途にも適用できないか検討し始めた。

エキシマレーザーの当初の用途の多くは、すでに現在は使われなくなっているものもあるが、その後進化して活用されているものも多い。私たちの日常生活にエキシマレーザーほどインパクトを与えたレーザー技術はほかに存在しないと言っても過言ではない。レーシック(LASIK: laser-assisted in situ keratomileusis)、フォトリソグラフィ、ディスプレイ製造は、エキシマレーザー特有の三大用途で、今も変わらず活躍し続けている。

## 特有の出力が生み出す、 特有のメリット

エキシマレーザーは、UV波長出力と高パルスエネルギーという独特の性質を併せ持ち、それが利用拡大の主な要因となっている。波長が長いほど回折が大きくなるため、光学分解能は波長

の増加にともなって低下する。エキシマレーザーは波長が短いので、微小な形状を非常に高い精度で生成することができる。また、高いパルスエネルギーと高速な繰り返しレートの組み合わせによって、処理スループットを高く、タクトタイム(製品1ユニットの生成にかかる総時間)を短くすることができる。

固体UVレーザー技術もまたこの40年間で著しく進歩してきたが、こうした特有の特長を併せ持つエキシマレーザーに置き換わるまでの新技術は出現しなかった。

実用的な面では、この間メーカー各社が、出力特性の改良や、特定用途の要件に合わせた開発に多大な労力を注いだことから、エキシマレーザーは市場における適合性をますます拡大していった。たとえば、初の商用エキシマレーザーであるラムダフィジック社の「EMG 500」は、最大繰り返しレートはわずか20Hzだったが、現在では、数kHzの繰り返しレートに対応するエキシマレーザーが無数に存在する(図1)。さらには、他のレーザーやレーザー以外の技術に対するエキシマレーザーの競争力の維持のため、メンテナンス性やコストなども大幅に改善されてきた。

## 視力矯正

世界中で年間100万人を超える人々が、レーシック手術により完璧な視界を取り戻しており、数えきれないほど

の人々の満足につながっている(図2)。

1989年に導入されたレーシックは当時、科学分野以外でエキシマレーザーが利用された初めての応用分野で、今でもユニット数でエキシマレーザー最大の応用分野である。豚の目に対する粗削りな実験から始まったレーシックだったが、今では世界中の眼科医院やレーシックセンターに1万を超える高精度でコンパクトなテーブルトップ型レーザーが導入されるまでに進化している。

レーシック手術では、波長193nmのエキシマレーザーパルスを使って、角膜から物質を除去して形を整えることにより、その屈折力を変えて近視、遠視、乱視の矯正を行う。

レーシック手術では、外科的処置によって(フェムト秒レーザーまたはマイクロケラトームで)、ヒンジで角膜とつな



図1 初の商用エキシマレーザーは、ラムダフィジック社の「EMG 500」。248nmで220mJのパルスエネルギーを生成し、繰り返しレートは最大20Hzだった。

がっている薄いフラップを角膜の外表面から持ち上げる。そしてエキシマレーザのビームを、高速走査ミラーを使って整形し、照射することにより、角膜物質を個々の患者の視覚矯正に必要な正確なパターンで除去する。その後、フラップを元の位置に戻し、目の前面を覆って保護する。

正確で安全なレーシック手術を行うためには、193nmのフッ化アルゴン (ArF) エキシマレーザによる高精度のアブレーション処理が不可欠である。また、短いパルス幅 (ナノ秒) と短い波長により、フォトアブレーションと呼ばれる比較的低温のプロセスで角膜物質を除去することができることが特長である。

## フォトリソグラフィ

エキシマレーザは、非常に微細な集積回路 (IC: Integrated Circuit) の製造にも欠かせない。それによって、ますます小型で高性能で経済的なマイクロプロセッサが製造されるようになり、多大な影響を現代社会に与えている。

ICそのものは、1枚のモノリシックな半導体ウエハ上に作製された無数の電子コンポーネントで構成されている。こうしたデバイスの微細構造は、フォトリソグラフィと呼ばれる処理にて1枚ずつ積層される。最初の工程は、半導体ウエハに感光性フォトレジストを塗布することである。続いて、必要な回路パターンを含むレチクル (マスク) にUVレーザ光を照射し、ウエハ表面にマスクパターンを投影する。その後、レジストの露光部分が現像され、ウエハが化学的にエッチングされることで、露光部分から材料が物理的に除去され、実際の形状が生成される。この処理を30回から40回繰り返すことによって、回路構造全体が完成する。



図2 レーシック手術は、毎年100万人を超える人々の生活の質を向上させている。

当初はフォトリソグラフィ光源として水銀ランプが使用されていたが、より微細な形状を生成する必要性から、より波長の短い光源 (ここでも回折が関係する)、特にエキシマレーザへの移行が進んだ。

フォトリソグラフィには、248 nm と193nmの両方のレーザが使用されている。193nmのエキシマレーザは、回折限界を大幅に下回る10nmまでの回路パターン形状に対応する。これを達成するには、イメージング光学部品における色収差を最小限に抑えるために、回折格子を制御して線幅を狭くする非常に特殊なエキシマレーザを開発する必要があった。イメージング、多重露光、一連の精巧な光学イメージング手法など、さらに微細な形状を生成するために、他にもさまざまな手法が用いられている。

この25年間で、オランダのASML社傘下の米サイマー社 (Cymer) や、日本のギガフォトン社なども、高まるチップ業界の需要に応じるために、リソグラフィ用エキシマ技術を大きく進

歩させてきた。その結果、高出力 (約100W) で卓越した性能特性を備える発振器/増幅器構成が、現在ではこの分野の標準となっている。

スペクトルを (1pmを大きく下回るレベルにまで) 積極的に狭め、露光量と線幅を高度に制御する方法が広く用いられている。10nmという最も難しいレイヤーに対しては、13nmでの極紫外線 (EUV: extreme ultraviolet) リソグラフィといった他の技術がエキシマレーザを補完しているが、それでもやはり、フォトリソグラフィ分野におけるエキシマレーザの将来の見通しはまだまだ明るい。

## ディスプレイ製造

スマートフォンなどの端末で採用されている最も一般的な2種類のフラットパネルディスプレイは、AMLCD型とAMOLED型ディスプレイである。どちらにもガラス基板からなるバックプレーンが用いられる。ガラス基板には、実際のピクセル回路を形成する多数の薄膜トランジスタ (TFT) のパ

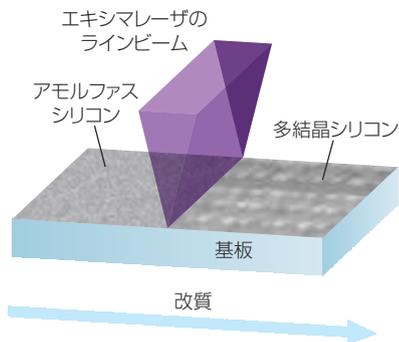


図3 ディスプレイ基板に対するエキシマレーザーアニリング(ELA)プロセスの基本要素を示す図。

ターンが作成される。薄膜はシリコン(厚さは一般的に50nm)でできており、フォトリソグラフィによって露光され、必要な回路構造が構成される。

アモルファスシリコン(a-Si)層の作成には、大規模な化学蒸着法(CVD)が用いられ、このアモルファス層を多結晶シリコン(poly-Si)に改質すると電子移動度が向上し、卓越した電気的特性を備える微細TFTが作製される。バックライトをあまり遮断しないので、消費電力が低いのに明るくという、小型で高解像度のディスプレイで特に重要な性質が得られる。また、バックライトなしで発光が可能な有機EL技術の登場により、TFTの性能向上に対する要求はさらに高まっている。

アモルファスシリコンから多結晶シリコンへの改質は、エキシマレーザーアニリング(ELA、図3)と呼ばれる手法で、エキシマレーザーで加熱することによって行われる。具体的には、エキシマレーザーのラインビームをアモルファスシリコン薄膜上に走査すると、アモルファスシリコンが308nmの光を効率的に吸収する。



図4 コヒレント社の新しい「LineBeam1000/TwinVYPER」システムでは、4本の独立したレーザーからの出力をシステム内で結合して、1本のラインビームを生成する。

この高い吸収率と、エキシマレーザーの高いパルスエネルギーにより、薄いシリコン層をほぼ完全に溶解することができる。またシリコンの高い吸収率は、UV光が基板まで透過してしまうことを防ぐ効果もあるため、熱ストレスを回避し、ガラス材料を基板として効率的に活用することができる。

製造は、第6世代(1.5×1.8m)など大型のガラス基板上で行われ、あとで多数の小さなディスプレイに分離される。ELAシステムで用いられるエキシマレーザーの矩形出力は、均質化され、細長いラインビームに成形される。ラインビームの長さは通常、パネルの幅(または幅の半分)に等しいことが望ましい。これによって、パネル全体をレーザービームの1回(半分幅の場合は2回)のパスで処理することができ、必要なプロセス利用率と高いスループットを達成するために不可欠な要件となっている。

コヒレント社は20年間にわたり(それ以前はラムダフィジック社として)、ELAのパイオニアとしてこの技術をリードし続けている。この分野の成功は、高出力エキシマレーザー技術の著しい進歩と、さらには、ますます大型化するパネルに均一なアニリングを可能にする高性能なUVラインビーム光学システムの上に成り立っている(図4)。

エキシマレーザーは、高い処理能力に加えて、性能、信頼性、総所有コストの継続的な向上によって、産業、医療、科学分野の他、多数の応用分野においても、重要な技術となっている。たとえば、エキシマレーザーによるリフトオフ処理は、新世代のフレキシブルディスプレイの鍵を握る要素であり、エキシマレーザーによって生成されるFBG(Fiber Bragg Grating)は、通信、センサ、そして多くのファイバレーザー設計に不可欠な要素である。

#### 著者紹介

ルドルフ・ヘルプスト(Ludolf Herbst)は、独コヒレント・レーザーシステムズ社(Coherent LaserSystems)の製品ラインマネージャー。

e-mail:ludolf.herbst@coherent.com URL:www.coherent.com

記事編集協力:五味 豊(コヒレント・ジャパン、産業用レーザーセールスグループ ストラテジックアカウントマネジメントチーム)