

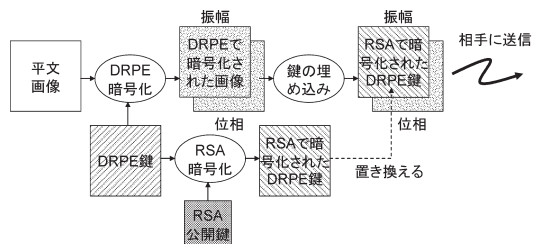
### 二重ランダム位相暗号化における暗号化画像と暗号鍵の同時配送

Simultaneous Transmission for an Encrypted Image and a Double Random-Phase Encryption Key  
[S. Yuan, X. Zhou, D. Li, D. Zhou: *App. Opt.*, **46**, No. 18 (2007) 3747-3753]

二重ランダム位相暗号化 (DRPE) は対称鍵を用いているため、実際に利用する際には暗号鍵配送の問題がある。一方、RSA に代表される公開鍵暗号方式では、暗号化用の鍵を公開できるので暗号鍵の配送問題は解決できる。この論文では、DRPE の鍵 (ランダム位相マスク) を RSA で暗号化し、これを DRPE で暗号化した画像の中に埋め込みを行うことで、暗号化画像と DRPE 暗号鍵を一度に配送する手法を提案している。DRPE では、暗号化画像の一部が欠損した場合でも、完全ではないが復号化画像を再現することができる。複素数で定義される暗号化画像を振幅、位相、実数、虚数の 4 つに分けた場合、位相成分を復号化して得られた画像の SN 比が最もよいことから、暗号化画像の位相成分を残したまま振幅成分の代わりに RSA の公開鍵で暗号化した DRPE 鍵を埋め込み、相手に送信する。受け取った側は、暗号化画像の振幅成分を取り出し、これを RSA の秘密鍵で復号化することで DRPE の復号鍵 (ランダム位相パターン) を復元でき、元画像を得ることができる。(図 6, 文献 15)

DRPE は膨大な鍵長が安全性を担保しているといえるが、その膨大な鍵を共有する問題は解決されていない。この論文で提案している手法はその一案であるが、復号化画像の再現性が要求される場面では十分とはいえず、より効率的な鍵共有方法の開発が期待される。

(鈴木 裕之)



DRPE 暗号鍵と暗号化画像を同時に送信する手法

### 可変照明系を利用した EUV 投影光学系の球面収差の評価

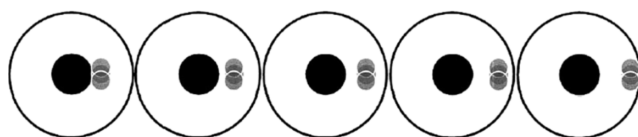
Lithographic Characterization of the Spherical Error in an Extreme-Ultraviolet Optic by Use of a Programmable Pupil-Fill Illuminator  
[P. P. Naulleau: *Appl. Opt.*, **45**, No. 9 (2006) 1957-1963]

EUV リソグラフィは電子回路製造のための次世代技術であり、回路線幅 32 nm 以降で適用される波長 13.5 nm の軟 X 線を用い、回路原版 (マスク) 上のパターンを、反射型結核光学系を介してレジストを塗布したウェハー上へ投影することで行う。通常、投影光学系は干渉計測を利用して調整し装置内へ組み込むが、非常に高い精度が必要であり、干渉計測時と装置への組み込み後の収差の変化が問題となっている。本論文では EUVL に適した手法として、可変照明を利用した球面収差の計測手法を提案している。

一般に、球面収差はパターンや照明条件によってベストフォーカスがずれる現象として検出できる。従来は複数のパターン (微細な周期パターン～粗い周期パターン) を露光し、パターン周期ごとのフォーカスずれ量から球面収差を計測していた。しかしながらその方式を EUVL (今回は LBNL の MET 光学系, NA 0.3, 瞳中心に遮蔽がある) に適用した場合、レジストに 12 nm 程度の非常に高い分解能が必要となり、実現不可能とわかった。そこで、可変照明系を利用した粗い周期のパターンのみを用いる手法が提案されている。図に示す

ように、パターン周期は 60 nm 程度に固定する代わりに、パターンからの回折光が投影系の瞳の中央部～端を通過するように、可変照明系でマスクへの照明角度を調整する。照明角度ごとのベストフォーカスのずれ量から球面収差を計測する。実験の結果、最大 220 nm 程度のフォーカスずれが生じ、干渉計測時には 0.1 nm RMS 程度と考えられていた球面収差が、実際には 1 nm RMS 程度であることがわかった。(図 10, 表 1, 文献 15)

今後、量産時に必要とされる複雑な 6 枚ミラー系へ適用され、より高い解像性能の実現へつながることが期待される。(佐々木隆洋)



マスクへの照明光角度を変えた際の、投影系瞳上での回折光分布

### ファイバー導波光のエバネセント波に作用させたカーボンナノチューブモードロッカー

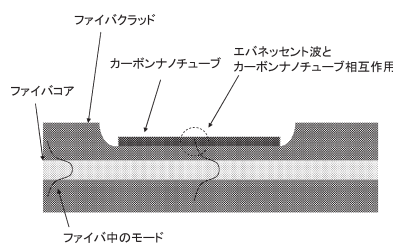
Carbon Nanotube Mode Lockers with Enhanced Nonlinearity via Evanescent Field Interaction in D-Shaped Fibers  
[Y.-W. Song, S. Yamashita, C. S. Goh and S. Y. Set: *Opt. Lett.*, **32**, No. 2 (2007) 148-150]

カーボンナノチューブの可飽和吸収特性を用いた光強度変調器の技術が提案され、ファイバーを導波する光のエバネセント波とカーボンナノチューブを相互作用させる新しい試みを行っている。本論文では、デバイスの作成と、そのデバイスを用いたモードロックレーザーについて報告している。

カーボンナノチューブを使用した可飽和吸収体は半導体可飽和吸収体などと比べて、吸収飽和回復時間が短い (~500 fs)、対応波長が広い、熱的なダメージに強い、作成しやすく小型化が容易、などの特長がある。著者らは、ファイバーの導波光のエバネセント波と相互作用を得るために、ファイバー側面をコア付近まで研磨し、研磨部分へカーボンナノチューブを堆積させている。導波光のエバネセント波とカーボンナノチューブを相互作用させる構成のため、相互作用長を長くとることができ、大きな非線形効果も得ることができる。著者らはカーボンナノチューブを使用した可飽和吸収体と、Er 添加ファイバー、アイソレーターを用いて、繰り返し周波数 5.88 MHz、パルス幅 470 fs

のモードロックリングレーザーを作成した。(図 7, 文献 12)

カーボンナノチューブの可飽和吸収の機能で光ファイバーの導波路特性を高速に変調する点が新しく、興味深い。煩雑な調整の必要ない全ファイバーモードロックレーザーは有用性が高く、今後の応用が期待される。(桑山 哲朗)



カーボンナノチューブとエバネセント波の相互作用の概念図