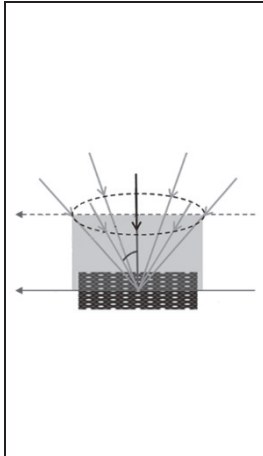


光のマクロとマイクロ構造制御及び ナノ加工応用

大阪大学 レーザー科学研究所
中田芳樹



1. はじめに

あらゆるレーザー応用において、ビームプロファイルは最も重要なパラメーターの一つである。市販のレーザーの多くは TEM00 モードと呼ばれるガウス分布に比例した光強度分布を持つ。ガウシアンビームは集光用途では必須と言えるが、そうでない用途も有る。例えば大面積のアニーリングである。現状ではラインスキャンすることで一定の均一性を得ているが、作業時間とのトレードオフとなり、加えてドーパ濃度の 3 次元プロファイルまで考えると最適ではない。一方、放電励起によるエキシマレーザーや kJ クラスの超大型レーザーは矩形のビームプロファイルを持つ¹⁾。後者は多段増幅器から構成され、前段で矩形にビーム整形を行う。強度ムラが有る場合は光強度が強い部分で最大出力が制限されるため、フラット化が重要な開発項目の一つとなっている。本稿ではビームプロファイルを光のマクロ構造と呼び、時間波形を除く 2 次元光強度分布の制御について論ずる。一方、干渉パターンはレーザーのコヒーレンシーが明瞭に表れ利用される手段の一つであり、ホログラフィーや測距、平面度の計測、構造化証明顕微鏡など幅広く用いられてきた。レーザー加工への応用では、光強度分布が波長オーダーの間隔で配列制御出来る事を活かし、周囲配列したナノ構造を作製する「干渉パターン加工法」が有る。同種の実験は 1967 年が最初であるが²⁾、その後レーザーの発展及び応用トレンドの変化に応じた進化を遂げてきた。その中で、干渉パターンの単位構造を制御する技術が発展した。本稿ではこれを光のマイクロ構造と呼ぶ。

本稿では上記の光のマクロとマイクロ構造の制御に加え、物質的なマイクロ構造の集合体である周期配列したナノ構造の一括作製に関し、筆者らの研究を中心に紹介する。

2. 光のマクロ構造制御：ビーム整形

ビーム整形には様々な手法がある。DOE (Diffractive Optical Element) や CGH (Computer-Generated Hologram) はフーリエ面でビーム整形を行うが、波面やパルス幅の乱れ、整形精度の低さが問題となる。一方、図 1 のように、2 枚のレンズからなる $4f$ 光学系のビーム入力面に空間光位相変調器 (SLM) を配置し位相深さ $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ の位相グレーティングを入力光に与え、フーリエ面に配置した空間周波数フィルターで回折光 (除去成分) をカットする事でビームを減衰させ整形を行う手法が考えられた³⁾。この場合の出力光 (抽出成分) の強度は(1)式で表される。

$$\tilde{E}(0) \propto E_0 \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \times \exp\left(j\frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right) \quad (1)$$

式より、位相深さ $\Delta\phi$ で抽出成分の強度を制御出来る。よって、 $\Delta\phi(x, y)$ を 2 次元空間内で制御する事でビーム整形が可能となる。