C－12　　ニューラルネットワークを用いた
電子線描画のドーズ量決定手法

情報電子部　電子光材料系　　○森脇 耕介　佐藤 和郎　福田 宏輝
情報電子部　　四谷 任

１．あらまし

超微細加工方法の一つである電子線リソグラフィによって，アナログレジストの厚み方向のマルチレベル構造を作製する工程を簡略化することを目的として，設計形状を得るための最適な電子線量（ドーズ量）分布を，ニューラルネットワーク（以下NN）による学習・想起によって導出することを試み，良好な結果を得た．

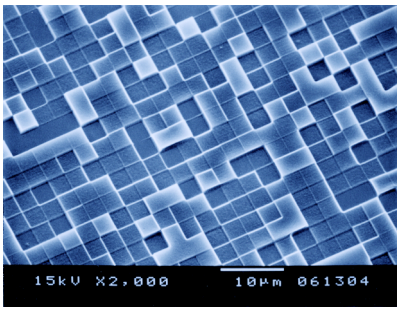


図１　CGHの加工例

図１のような計算機ホログラム（CGH）の厚み分布（設計形状）を予備的に一度加工し，そのときの形状測定結果（入力）とドーズ量分布（出力）との対応を，３層の階層型NNに誤差逆伝搬法を学習アルゴリズムとして学習させた．設計形状に対するドーズ量分布を学習済みNNに想起させ，再加工したところ，設計形状により近い加工結果が得られ，ドーズ量分布の近接効果補正に利用できる可能性が認められた．

通常，ドーズ量の最適分布条件は反復的試行錯誤が必要であるが，報告する手法は，予備加工と本加工のみで工数を低減でき，熟練や職人的技能に依存しない効率的な簡便手法に展開できると考える．

２．近接効果

電子線描画時に基板面へ照射される電子は，図２のようにレジスト内で散乱（前方散乱）し，また基板から反射（後方散乱）する．それぞれ分散の異なる正規分布である．ある点のレジストに蓄積される電子線エネルギー量は，直接照射分とこれら散乱分の和となる．分散定数は，レジストの種類や厚み，基板の材質に依存する数値であって，実験的にその都度決定する必要があるなど不確定である．またレジストの感度特性が非線形であることもあって，最適な電子線強度分布を予測して，一度の試作で意図した形状を得るのは困難であるのが現状である．

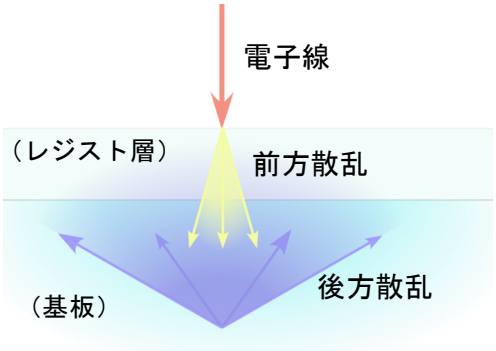


図２　近接効果

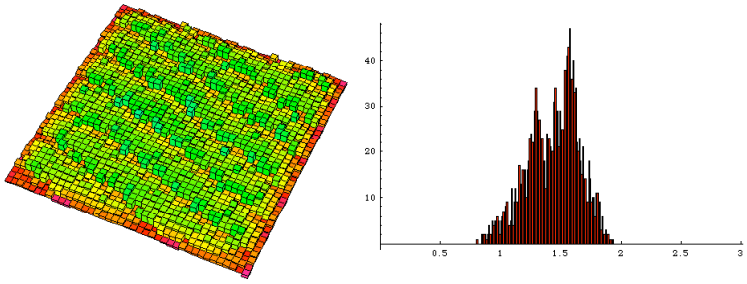
近接効果は，２次元パターン形成における幅方向への誤差要因として取り上げられることが多く，その範囲においては既に数多くの手法が提案され実用化もされている．

本報告で取り上げているのは，レジストの残存量制御による，厚み分布構造を加工する，アナログ型のレジストを用いた電子線描画である．需要が少ないためもあってか，効果的な補償手法の提案はあまり見当たらない．市販の描画装置では，あらかじめ実験的に散乱の定数を求めておく必要がある．電子散乱のシミュレーションによる方法も物性値や感度特性等が既知であることが前提である．

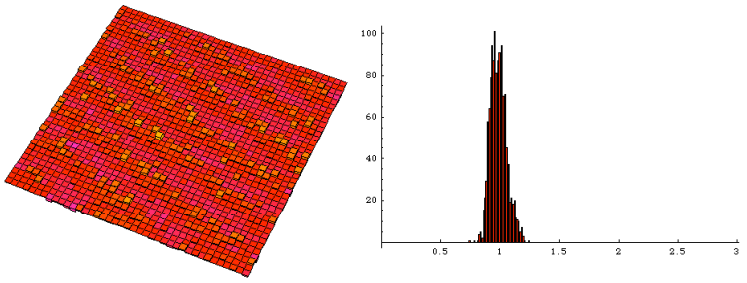
３．ＣＧＨ試作実験

【予備加工】８レベルの高さ分布をもつCGHパターン（40×40ピクセル，４μm角/ピクセル）を予備試作し，白色光干渉式顕微鏡を用いて厚みの分布を測定した．学習のために周囲も

含めて計測した．初期のドーズ量はレジスト感度特性から適当に決定した．
【学習】あるピクセルにつき，それを中心とし，電子の散乱範囲を十分包含するであろう11×11=121 ピクセルの厚み分布を入力，中心ピクセルに対応する予備試作時のドーズ量を出力とし，これを全ピクセルすべてに対して学習データを作成した．これをシグモイド関数の出力特性をもつニューロ・ユニットで構成する階層型NN（ユニット数：入力層121，中間層４，出力層１）に逆誤差伝搬法によって学習させた．十分学習誤差が低下収束した時点で学習を終了した．
【想起】学習済みのNNに，設計形状の深さ分布を，各ピクセルにつき学習時と同様に周囲を含む121ピクセルを入力し，出力をそのピクセルに対する想起最適ドーズ量とした．
【本加工】想起最適ドーズ量で，予備試作と同じパ形状を再度加工した．



(a) 予備加工



(b) 本加工

図３　試作形状／設計形状の比率分布
比率ヒストグラム

３．結果と考察

図３は，予備加工と本加工それぞれについて，設計形状に対する比の面分布とヒストグラムである．予備加工（同図(a)）では，全体に大きな誤差がみられ，また周辺部に比べ中央部でより誤差が大きいのは近接効果の散乱の程度の違いによるものと考えられる．一方，本加工（同図(b)）では，面分布はほぼ平らとなり，またヒストグラムは１に著しく集約して，設計形状に近づいてことがわかる．

このNNは，周辺のドーズ量分布とそこからの散乱の影響，またドーズ量対厚みの非線形特性，さらにレジストとや基板材質など，個別に考慮すれば複雑であろう問題を，単純な予備実験と学習の手続きの中で，包括して学習したと考察できる．

実験結果は省略するが，重要な知見が得られた．学習済みNNは，学習に用いていないパターンに対しても，内挿値を想起出力する．図３の予備加工で学習したNNに，同じCGHの他の一部の形状に対するドーズ量を想起させ，本加工したところ，いずれも予備加工結果に比べて良好な改善がみられた．このことから，ある設計形状があって，その一部を切り出して予備加工と学習させた後，設計形状全体に対して最適ドーズ量を想起させ本加工するという，加工手順の簡便化が実現できる．

４．まとめ

本報告ではCGHを試作例に取り上げたが，適用の限界を検証する余地が多く残されている．例えば，予備加工に用いる原パターンの「一部」として，どの部位のどの範囲を選択するかは重要な課題である．加工プロセスの簡便化を主目的として，予備加工パターンの単純化と本加工の高精度化などについて，今後も継続して調査したいと考えている．

参考　森脇ほか，特願 2005-90743「微細構造体の製造方法」，平成17年３月28日．