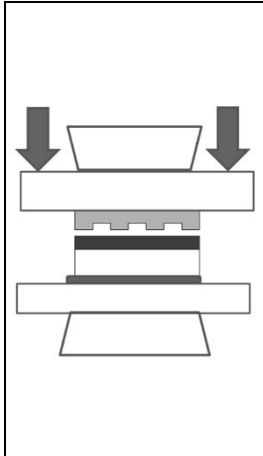


ナノインプリント・応用の現状と将来

兵庫県立大学 名誉教授
松井真二



1. はじめに

ナノインプリントは、凹凸のパターンを形成したモールドを、基板上的液状ポリマー等へ押し付けパターンを転写するものである。10nm レベルのナノ構造体を、安価に大量生産でき、かつ高精度化が可能となりうる技術として近年注目を浴びている^{1,2)}。1995年に Chou 教授が、ポリマーのガラス転移温度付近で昇温、冷却過程により 10nm パターン転写が可能であるナノインプリント技術を発表した^{3,4)}。熱サイクルプロセスであるため、熱ナノインプリントとも呼ばれている。続いて、オランダのフィリップス研究所 (1996 年)⁵⁾、米国テキサス大学の Wilson 教授 (1997 年)⁶⁾が紫外光硬化樹脂を用いた、光 (UV) ナノインプリント技術を発表した。その後、2000 年頃にナノインプリント装置が市販されると共に、世界の研究機関でナノインプリント技術研究開発が開始され、10nm パターン転写が可能であることがその再現性と共に報告され、ナノインプリント技術が一般化し、その応用デバイスの発表が行われるようになってきた。それまでにも、10nm レベルのナノパターン形成は電子ビーム露光で可能であったが、直接描画であるため、低スループットであり、量産プロセスへの適用ができなかった。ナノインプリントは、10nm 以下の高解像度、高スループット、簡易プロセス、3 次元パターンニング、低装置価格という特徴を有している。ナノインプリントでは、電子ビーム描画での電子ビームの前方、後方散乱による近接硬化がなく、また光露光での回折もなく、凹凸モールドのパターンが高精度に転写される。熱および光ナノインプリントは従来からマイクロサイズで実用されているホットエンボスおよび 2P (photo polymerization) 法と基本的なプロセスは同じである。相違点としては、ホットエンボスが樹脂基板に、また 2P 法は厚い光硬化樹脂層にプレスを行うのに対して、熱ナノインプリントおよび光ナノインプリントは平坦基板の上にスピン塗布等によって形成した薄膜樹脂にプレスしていることである。現在、光学、バイオ、環境・エネルギー、電子デバイス等の幅広い分野でナノインプリント技術を利用した研究・技術開発・製品展開が進行中であるといっても過言ではない現況である。ナノインプリント応用デバイスのハイエンドである高精度アライメントを必要とする半導体応用についても量産段階にある。1996 年から 2018 年までのナノインプリント関係の発表論文数を見てみると (Source: Scopus, keyword: nanoimprint)、ナノインプリント装置が市販されるまでの、当初 5 年くらいまでの論文はほとんど Chou 教授の論文であり、2000 年の発表論文数は、30 件程度である。その後、市販装置がいくつかのメーカーから販売されたため、それらの装置を使用したナノインプリント研究が本格化してきた。2009 年には 530 件程度の発表論文数に達し、その後徐々に発表論文数が下がってきているが、2018 年においても 330 件程度の発表論文数がある。1996 年から 2018 年までのナノインプリント関連の総論文数は 7073 件であり、米国が 1441 件、日本が 1221 件、中国が 705 件、韓国が 695 件、ドイツが 652 件、台湾が 328 件、フランスが 310 件、英国が 209 件、シンガポールが 170 件と続いている。EU 全体では 2000 件に達している。論文発表数から見ると、ナノインプリント研究開発が米国、アジア、EU に於いて世界的に行われていることがわかる。ナノインプリント技術が提案されて以来、鋭意研究開発が行われ、25 年経った現在では、ナノインプリン