兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

松 井 真 二*

1. はじめに

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所は、播磨科学公園都市内の SPring-8 構内に建設された、国内で3番目の規模を誇る中型放射光施設「ニュースバル」を利用し、光科学技術を中心とした先端科学技術の研究と共に、産業界との共同研究等による新産業技術基盤の創出を図り、産業支援を行うことを目的として、平成6年4月に設置された。

2. 研究所の組織

当研究所は「光・量子科学技術」、「光応用・先端技術」の2大講座から組織され、各々3つの専門分野が設置されている。光・量子科学技術大講座は、光およびビーム関連科学の研究開発を進めると共に新しいナノ科学の創出を進めている。また、光応用・先端技術大講座は、放射光利用によるナノテクノロジーを駆使したマイクロデバイスや計

測技術の研究を進め、産業界の支援を行っている。

3. 兵庫県立大学放射光施設ニュースバルにおける産業応用研究

ニュースバルは平成12年1月から供用を開始し、産学連携による企業との共同研究等を推進している放射光施設である。兵庫県が財政支出をしており、SPring-8という世界最高輝度の放射光科学施設と同一の敷地内で相互に補完し合いながら「産業利用」を強く打ち出している点で、内外の軟X線、真空紫外放射光施設の中では特異な存在である。ニュースバルで利用できるこれらの光源は、産業界への活用が拡大していくと予想される波長領域であり、半導体や、マイクロマシン等の微細加工技術の開発、新材料創製・評価等が可能なため、電子・機械産業、オプトエレクトロニクス、素材型産業、バイオ薬品等への産業支援が期待されている。SPring-8とニュースバルの配置および

図1 兵庫県立大学中型放射光施設ニュースバル

* Matsui, Shinji
 兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-1-2 (〒678-1205)
 2006.10.18 受理

表1 ニュースバルビームライン

プロジェクト	光源	Energy	目的
微細加工	Bending	0.08-0.3 keV filter	マスクパターンの縮小投影露光 (EUVL)
	Undulator	0.08-0.6 keV spectrometer	超高精度測定技術
	Bending	<6 keV filter	マイクロプロセス技術 (LIGA)
	Bending	<6 keV filter	産業専用 (LIGA)
新素材創製	Undulator	<0.8 keV spectrometer	創製と分析
	Bending	<1 keV filter	新機能性表面の創製
新光源開発	Undulator	0.006 keV klystron	新光源の応用, γ 線ビーム
汎用	Bending	<0.6 keV spectrometer	多目的

ニュースバル実験棟内全体図を図1に示す。ニュースバルの周長は119 m, 電子エネルギーは1.5 GeV, 蓄積電流値は500 mAである。SPRING-8の線形加速器から入射された1 GeVの電子ビームを蓄積リングで安定周回させ, 電子軌道の接線方向から放射される軟X線を利用するとともに, 電子ビームを蓄積リング内で加速することにより, 硬X線も利用可能である。現在, 微細加工, 新素材創製, 光源開発の3つの研究プロジェクトが稼動している。それぞれのビームラインの仕様および研究目的を表に示す。

以下にニュースバルにおける産業応用研究について述べる。

(1) 半導体製造微細加工技術の研究開発

半導体製造プロセスとしてリソグラフィ技術はキーテクノロジーであり, 次世代の技術として, 波長13 nmを用いた極端紫外リソグラフィによる最小線幅50 nmの微細加工技術が要求されている。これまでに, 線幅200 nmのマスクを用いた5分の1縮小投影露光により, 図2に示すように, 世界最高レベルの40 nmパターンの形成に成功している。さらに, 解像度を決定する光学系波面収差を高精度に評価する研究開発も国家プロジェクトとして行っている。

(2) マイクロシステムテクノロジーのデバイス開発への展開

放射光による高いアスペクト比のパターン形成が可能なLIGAプロセス(放射光から得られるX線を利用した深いリソグラフィにより, 厚いレジストをパターンニングしたのち電気メッキで各種材料部品用の金型を作製する方法)を中核として, マイクロシステムの研究開発を行っている。具体的には放射光の優れた特性を生かしたマイクロ・ナノ加工をベースとして, 将来の情報通信分野, バイオ・医療分野, 環境分野への適用に向けたマイクロシステムの研究である。そのためにLIGAプロセス, 金型プロセス, 成形プロセスの一連のトータルマイクロプロセスを構築して, マイクロシステムを総合的に研究する必要がある。これによりX線マスクから量産用成形品にいたる一連の加工プロセスが確立され, ブロードバンド対応の光スイッチ, 端

図2 極端紫外線露光によるマスクと転写パターン

末用の光学素子, あるいはバイオ分析用のチップ等, 様々なマイクロシステム用の要素部品の作製に成功してきた。また, A4サイズの世界最大面積の露光が可能なビームラインを新設し, 企業との共同研究により従来品の2-3倍の均一な輝度を有する液晶表示用ライティングパネルの開発にも成功している。

(3) 新物質創製・評価の研究開発

軟X線領域の光を固体表面に照射することにより, 微細加工や表面改質反応を効率よく行うことができる。新物質創製・評価では, この軟X線を利用した高分子材料の表面改質に関する研究開発を行っている。ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) は高撥水性であり, かつ化学的安定性が高いため, 工業用途に盛んに利用されているが, 接着性が悪いなどの問題から応用が限られている。この分野の研究においては, 軟X線領域の放射光を用いてPTFEの表面を親水性から超撥水性まで制御可能であることを見出した。その一例として図3に, PTFE基板への放射光の照射効果を水滴の接触角測定により評価した実験結果を示

(a) 照射前

(b) 基板温度200℃での照射後

図3 テフロン基板への放射光照射による表面改質

集束イオンビーム装置

マイクロワイナングラス
直径：2.7μm 高さ：12μm

図4 集束イオンビーム化学気相成長法による立体ナノ構造形成

2インチ対応
ナノインプリント装置
(明昌機工(株)との
共同開発)

25-nm line 転写材料：HSQ

図5 室温ナノインプリントプロセス

す。基板温度 200℃ での照射により、撥水性のさらなる向上が確認できた。

4. ナノテクノロジー研究

高度産業科学技術研究所では、放射光施設ニュースバル利用研究と共に、汎用実験設備を用いたナノテクノロジー研究も推進している。

(1) レーザプラズマ X 線源の研究

次世代リソグラフィ技術として期待されている極端紫外線露光用光源として、レーザプラズマ X 線の開発を行っている。キセノクライオ回転ターゲットに高平均パワーレーザを照射することにより、高効率の極端紫外線を取り出すことができる。

(2) 集束イオンビームによる立体ナノ構造形成研究

電子ビーム描画技術により 10 nm までの 2 次元のパターン形成が可能となっているが、さらに、高機能なデバイスを作製するには、3 次元の構造形成技術が必要とされている。そこで集束イオンビーム化学気相成長法を用いた立体ナノ構造作製技術を検討している。例として、図 4 に集束イオンビーム装置と、作製した直径 2.7 μm 、高さ 12 μm のマイクロワイニングラスを示す。イオンビーム径は 5 nm であり、ここに示すように 100 nm 以下の立体ナノ構造形成も可能である。現在、ナノマニピュレータやパイオツール等の応用デバイスの作製を行っている。

(3) ナノインプリント技術の研究

電子ビーム露光はナノメートルパターンの描画は可能であるものの、一筆書きであるためにスループットが小さいという難点がある。1995 年に米国の Chou 教授が提唱したナノインプリント技術は、この難点を克服するナノパターンの量産技術として注目されている。これまで、熱および光を用いるナノインプリント技術が発表されているが、本研究では図 5 に示すように、第 3 の方式として転写材料に HSQ (hydrogen silsesquioxane) を用いた室温ナノインプリント技術を開発している。これは熱サイクルや光照射を必要とせず、室温でナノインプリントが可能である HSQ 液滴塗布膜を用いたプロセスであり、低圧力で金型形状に忠実な HSQ パターン成形が可能である。現在、線幅 25 nm から 300 μm の幅広いサイズのパターン形成に成功している。今後室温ナノインプリントは、パターンドメディア、あるいはナノ光学部品の作製に適用されていくものと期待される。

5. ま と め

兵庫県立高度産業科学技術研究所は、軟 X 線放射光の特徴を生かした微細加工、新材料創製・評価分野を中心として、ニュースバルを利用した産学連携共同研究事業をさらに推進すると共に、新産業創出に向けたナノテクノロジーの研究開発を行ってゆく方針である。

賛助会員ならびに会員の皆様へ

「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」の 訪問取材を希望される会社を募集中

「成形加工」誌には、「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」を掲載しています。本企画は、プラスチック成形加工に携わり、日本のものづくり産業の基盤を支えている活気ある企業を、本誌編集委員自らが訪問取材して、会社概要および自慢の製品・技術を広く会員に紹介することを目的としたもので、詳細は以下のとおりです。

1. 主として賛助会員あるいは正会員の所属する会社を、本誌編集委員が訪問し、新製品・新技術等を、実際の製品を見て、あるいは現場見学を交えて取材し、記事としてまとめ上げる。会員による原稿執筆は一切不要。
2. 取材は、2 時間程度。
3. 原稿は、図表を含めて刷り上がり 2~3 ページとする。
4. 掲載料は無料。

この「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」の訪問取材を是非ご検討下さい。

本企画は、年間 4~5 件を掲載する予定です。記事のスタイル、内容等につきましてはすでに掲載されている幾つかの記事をご参照下さい。

「成形加工」編集委員長 大嶋正裕