次世代「つながる」超精密光計測への挑戦

A Challenge for the Next-Generation “Connected” Ultra-Precision Optical Metrology

○正 清水 裕樹 (東北大) 正 松隈 啓 (東北大)
正 高 偉 (東北大)

Yuki SHIMIZU, Tohoku University, 6-6-01, Aramaki Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi

Hiraku MATSUKUMA, Tohoku University

Wei GAO, Tohoku University

Key Words: Optical metrology, Precision positioning, Angle measurement, Scale grating

1. はじめに

レーザ干渉計に代表される光計測技術の発展に伴い、個々の計測機器において1自由度の変位計測についてはナノメートル超級の高分解能計測が実現されている。その一方で、ナノ精度機械加工の現場では、3次元空間内における多自由度変位・姿勢の超高精度計測に対する要求が高まっており、特に近年では国家標準にトレーサブルな計測の実現が求められている。筆者らは、次世代の「つながる工場」において必須となる、国家標準にトレーサブルな超高精度・高精度・高安定計測技術の確立を目指し、時間・周波数の国家標準とダイレクトにリンクし、長さの国家標準でもあるモード同期フェムト秒レーザ(光周波数コム)と光ナノグリッドを融合して実現する、次世代の「つながる」超精密光計測(図1)の新原理を提案している。

2. モード同期フェムト秒レーザによる高精度角度計測

2軸光ナノグリッドを利用して、光周波数コムを角度スケールコムに変換する原理を図2に示す¹⁾²⁾。超短パルスレーザであるモード同期フェムト秒レーザ(光周波数コム)は、光周波数域において等周波数間隔で並んだ発振モードを有しており、現在は日本の長さ国家標準にも用いられている。光周波数コムレーザを2軸光ナノグリッドに入射すると、その分光作用により±1次回折光群が生成されるが、各コムモードの光周波数はそれぞれの1次回折光の回折角と一対一の関係にあることから、高安定な角度スケールコムとして活用できる。また、レーザオートコリメーション法と融合し、光周波数域で角度スケールコムを捕捉することで、分解能0.1 arc-second超での高精度な「つながる」高精度角度計測を実現できる³⁾。

3. 大面積2軸回折スケール格子の一括露光

国家標準にダイレクトにリンクした「つながる」超精密光計測技術の開発に必須となる、大面積2軸光ナノグリッドを生成する光学系を図3に示す⁴⁾。露光基板と2枚の反射鏡からなる非直交型ロイドミラー干渉光学系によるマルチビーム干渉露光は、各サブビーム間の非共通路が短いこともあり高安定な2軸干渉縞定在波を生成可能である。これに独自の偏光制御を融合することで、2軸干渉縞定在波を高精度化できる。これまでに100 mm四方サイズの大面積高精度2軸光ナノグリッド(格子ピッチ:1 μm)の一括転写に成功している⁵⁾。なお、回折格子をスケールとして用いるリニアエンコーダ、サーフェスエンコーダにおいては、格子ピッチが変位計測の「目盛り」として用いられている⁶⁾が、その校正評価を長さの国家標準に直結した形態で実現できれば、

Fig.1 A schematic of the “connected” ultra-precision optical metrology

Fig.2 Angle scale comb generated from an optical frequency comb²⁾

Fig.3 Fabrication of a large-area two-dimensional scale grating based on the interference lithography

様々な超精密加工機、超精密計測機を、それら装置が置かれた「その場」で超高精度に校正可能な、全く新たな信頼性保証体系を確立できる。現在、その実現に向け、長尺リニアスケールおよび大面積2軸光ナノグリッドの格子ピッチを迅速・高精度に評価する光学的手法の開発を鋭意進めている。

文 献

- (1) Y. Shimizu et al., Applied Sciences, 10-11, (2020) 3037 (22pp)
- (2) Y. Shimizu et al., Prec. Eng., 47, (2017) 72-80
- (3) Y.L. Chen, Yuki Shimizu et al., Prec. Eng., 54, (2018) 284-293
- (4) Y. Shimizu et al., Prec. Eng., 52, (2018) 138-151
- (5) Y. Shimizu et al., Prec. Eng., 60 (2019) 280-290
- (6) Y. Shimizu et al., Sensors, 19-23 (2019) 5289 (33pp)