

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分  
平成30年3月26日現在

超高精度光ナノグリッド基準と光絶対スケールコム  
の創出が拓く精密光計測フロンティア

Frontier of precision optical metrology created by the ultra-precision optical nano-grid reference artifact and the absolute optical scale comb

課題番号：15H05759

高 偉 (GAO WEI)

東北大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

光ナノグリッド基準創出および次世代多軸光絶対スケールコム実現に向け、マルチビーム干渉と光偏光制御法による全く新しい2軸光干渉グリッド定在波一括転写法、および大面積光ナノグリッド基準の精度保証を短時間で行う誤差分離型自律校正法の有効性を実証するとともに、光ナノグリッド基準多軸光絶対スケールコムを創出し、超精密光計測学のフロンティアを拓く。

研究分野：生産工学・加工学

キーワード：精密位置決め・加工計測、超精密計測

1. 研究開始当初の背景

レーザ干渉計など光計測技術の進歩により、現在ではナノ域精度が実現されているが、ビックサイエンス、スペーステクノロジーなどの分野では、より一層の高精度化への要求が高まるとともに、半導体製造装置などの産業用先端機器においては、機能の複合化に伴う計測の多軸化が進んでいる。

その一方で、従来の計測システムでは、基準となるレーザ波長の揺らぎ等の影響でナノ域の安定性が限界となっている。また、多軸計測の実現には単軸計測センサを複数組み合わせる必要があるが、それに伴い累積する誤差が無視できず、新しい高安定基準に立脚した多軸精密光計測学による高安定計測の実現が課題となっている。

2. 研究の目的

申請者らは、グリッド基準を用いた多軸光センサと自律校正法を基盤とした精密ナノ計測学を構築してきた。本研究では、ピコ域の超高安定性を有する超高精度大面積光ナノグリッド基準と多軸光絶対スケールコムを創出して、次世代のピコ域精度を実現する精密光計測のフロンティアを切り拓く。

3. 研究の方法

本研究では、主に以下の3つの研究Taskに取り組む。

- 1) 多軸光絶対スケールコム  
の開発
- 2) マルチビーム生成定在波一括転写システム  
の開発
- 3) 大面積光ナノグリッド基準の一括・高速  
自律校正システムの開発

4. これまでの成果

1) 多軸光絶対スケールコム  
の開発

多軸変位・角度スケールコム  
の開発を進めている。角度計測については、光源にモード同期フェムト秒レーザを採用し、かつ従来の平面反射鏡に代えて反射型回折格子を用いて生成する1次回折光ビーム群を利用して角度計測レンジを飛躍的に拡大した、レーザオートコリメーション法をベースとする角度スケールコムを開発した(図1)。レーザオートコリメーション法の高い確度分解能を維持しつつ、6°超にわたる角度計測レンジを実現した。さらに、多軸絶対光スケールコム  
の普及と産業応用展開を見据え、光ファイバベースのフェムト秒レーザ光源光学系の構築にも取り組んでいる。

2) マルチビーム生成定在波一括転写システム  
の開発

レーザ光分割後の各ビームの非共通光路が短く、原理的に安定な波面分割型に立脚した直交型2軸ロイドミラー干渉計を構築し、XYグリッド定在波をレジストに一括転写できることを実証した。一方、理論的検討お

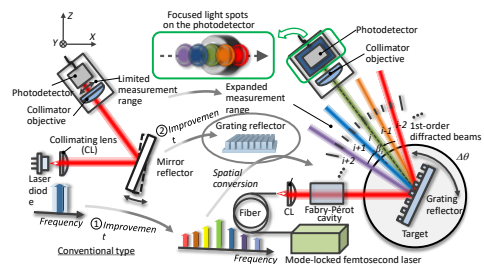


図1 角度スケールコム

び実験検証から、光学系にシビアな調整が求められることが明らかとなった。そこで、研究室レベルでの大面積 XY グリッド製作を実現する、安定性に優れた非直交型 2 軸ロイドミラー干渉計を新たに構築した (図 2)。試作光学系での露光実験で、目標の 100 mm×100 mm サイズの大面積 XY グリッド (格子ピッチ: 1  $\mu\text{m}$ ) 試作を実現している (図 3)。

### 3) 大面積光ナノグリッド基準の一括・高速自律校正システムの開発

レーザ干渉形状測定機をベースとして、複数の 1 次回折光波面情報から光ナノグリッド基準の平面度誤差、XY ピッチ誤差および干渉形状測定機の参照鏡誤差を分離して求める自律校正原理を構築した (図 4)。光ナノグリッド基準の平面度誤差、XY ピッチ誤差および干渉形状測定機の参照鏡誤差を与えた計算モデルを対象に計算機シミュレーションを行い、その妥当性を明らかにした。また、恒温室に設置したレーザ干渉形状測定機上で光ナノグリッド基準の自律校正システムを構築し、100 mm 四方サイズの大面積光ナノグリッド基準の Z 平面度と XY ピッチ誤差、および干渉形状測定機の参照鏡誤差を分離して高速に求められることを実証した。また、光周波数コムをベースとしたトレーサブルな格子ピッチ絶対校正手法も開発し、サブ nm 級の高精度格子ピッチ評価を実現した。

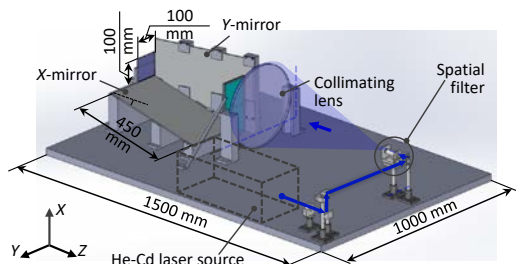


図 2 非直交型 2 軸ロイドミラー干渉計

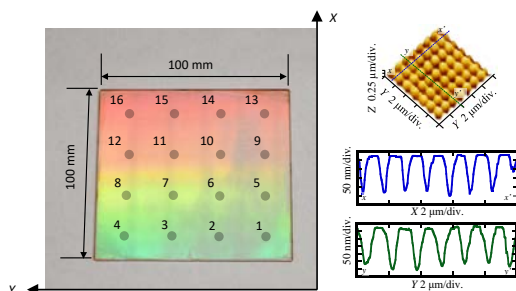


図 3 大面積光 XY ナノグリッド

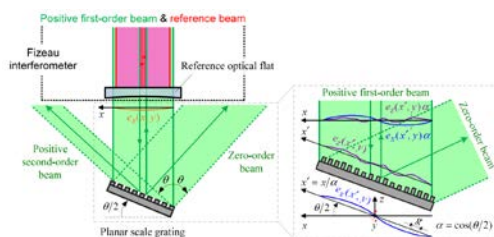


図 4 光ナノグリッド基準の自律校正

### 5. 今後の計画

これまでに試作した大面積 XY ナノグリッド基準を光絶対スケールコム光学系に適用する。光周波数コムを 6 自由度変位角度絶対スケールコムに変換させる光学系を設計し、光絶対スケールコムの分解能、内挿誤差などの基本特性評価を行うとともに、光絶対スケールコムによる大面積計測実験を行う。

### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

#### 6.1 査読付き学術論文

- 1) Y. Shimizu, R. Aihara, K. Mano, C. Chen, Y.L. Chen, X. Chen, W. Gao. *Precision Engineering*, in press (2018).
- 2) X. Chen, T. Nakamura, Y. Shimizu, C. Chen, Y.L. Chen, H. Matsukuma, W. Gao. *Optics and Laser Technology*, in press (2018).
- 3) X. Chen, Y. Shimizu, X. Xiong, Y.L. Chen, W. Gao. *Optics Express*, 25(18) 21567-21582 (2017).
- 4) Y.L. Chen, Y. Shimizu, J. Tamada, Y. Kudo, S. Madokoro, K. Nakamura, W. Gao. *Optics Express*, 25(14) 16725-16738 (2017).
- 5) Y. Shimizu, Y. Kudo, Y. L. Chen, S. Ito and W. Gao. *Precision Engineering*, 47, 72-80 (2017).

他 査読付き学術論文 20 件

#### 6.2 受賞

- 1) 清水裕樹, 工藤幸利, 陳遠流, 伊東聡, 高偉. 精密工学会論文賞, 2018年3月16日.
- 2) S. Madokoro, Y. Shimizu, Y.L. Chen, W. Gao. 日本機械学会生産加工・工作機械部門優秀講演論文表彰, 2017年11月15日. 他 関連受賞 16 件

#### 6.3 招待講演

- 1) W. Gao et al. The 65th General Assembly of CIRP, the International Academy for Production Engineering. 2015年8月25日, Capetown, South Africa. (基調講演)
- 2) W. Gao. 13th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments. 2017年9月23日, Xian, China. (基調講演)
- 3) W. Gao. The 39th International MATADOR Conference on Advanced Manufacturing. 2017年7月6日, Manchester, United Kingdom. (基調講演)
- 4) W. Gao. The 7th International Conference on Positioning Technology (ICPT2016), 2016年11月9日, Seoul, Korea. (基調講演)

他 6 件 (うち基調講演 3 件)

ホームページ等

<http://www.nano.mech.tohoku.ac.jp/>