



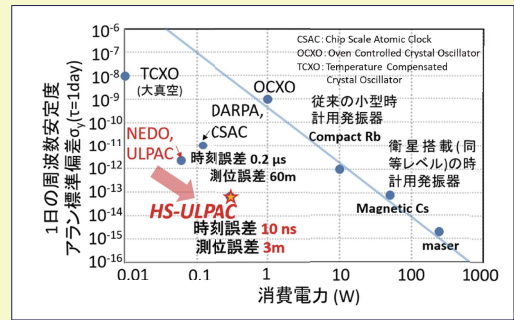
量子干渉効果による小型時計用発振器の高安定化の基礎研究

Basic research for enhancing the stability of small clock oscillators based on quantum interference

背景とねらい

※1 原子時計: 原子に固有の振動を活用した高精度な時計

本研究は測位衛星からの電波が途絶しても高精度測位を維持可能とするための小型時計用の高精度発振器(原子時計※1)として、測位衛星搭載の原子時計と同等の性能を有し、かつ、手のひらサイズで低消費電力な原子時計(High Stability Ultra Low Power Atomic Clock(以下HS-ULPACと呼ぶ))を実現するための基礎研究として、安定性を阻害する各種周波数変動要因の解明及び移動体搭載環境でも機能するプロトタイプモジュールを試作し、性能評価・実証を行う。



研究成果

- ※2 MEMS-Siガスセル: Micro Electro Mechanical Systems Si ガスセル(微小電気機械システムガスセル) 半導体製造技術を活用したSi微細加工技術にて作製されたセシウム蒸気封入容器
- ※3 CPT: Coherent Population Trapping (コヒーレントポピュレーショントラッピング) 原子と電磁波の共鳴現象の一種
- ※4 ECDL: External Cavity Diode Lasers (外部共振器型半導体レーザー) 外部に作製した共振器によって周波数だけを広帯域にわたって制御可能な半導体レーザー
- ※5 魔法磁場: 磁場変動に対して周波数変動が小さい領域を持つこと

- ・水晶発振器において、14mm×9mmサイズで、加速度感度0.1ppb/G、1秒のアラン偏差 1.4×10^{-11} を達成
- ・多数のMEMS-Siガスセル※2をウェハレベルで一括作製。CPT※3共鳴が測定可能なSi-サファイアガスセルの作製に成功
- ・原子時計プロトタイプモジュール実験室モデルの試作完了。ほぼゼロドリフトに近い条件で長期間の動作確認
- ・空間光学型ECDL※4を実現するゲインチップ低温集積化に成功。効率75%の二次元回折格子を実現。10⁻⁶Paまで真空度をモニタできる小型真空計を実現
- ・光学定盤実験装置を試作し、量子干渉効果のデータを収集。魔法磁場※5を有し、信号強度の高いCPT共鳴の観測に成功

振動A(周波数f) 熱(温度T, 熱流q)
圧力P
温度勾配ΔT
磁場勾配ΔH
磁場H

従来
新規

共振周波数 (Hz)

磁場 (μT)

光学定盤実験装置
磁場変動耐性の高い共鳴状態を実証

ドリフト: -3.1×10^{-11} /日

23日

アナログ位相検波方式制御基板
プロトタイプモジュール実験室モデル

実験室モデル量子部
(26×26×25 mm)

(2880セル/8"ウエハ)

1次試作 (3.0×4.0×2.8mm)

2次試作 (2.5×2.5×3.0mm)

MEMS-Siガスセル
ガスセル開発

CPT共鳴測定用レーザー
サファイア
Si

Si-サファイアガスセル

低加速度感度水晶振動子(WLP)

低加速度感度高安定TCXO

耐振動特性を持つ高安定水晶発振器開発

原子時計のプロトタイプモジュール

メタレンス②
PZT
微小ビームエキシタダー

メタレンス①
VHG

LD
Polarizing Beam Splitter
Actuator PZT

サーミスタ
LD
PBS
空間光学型ECDL

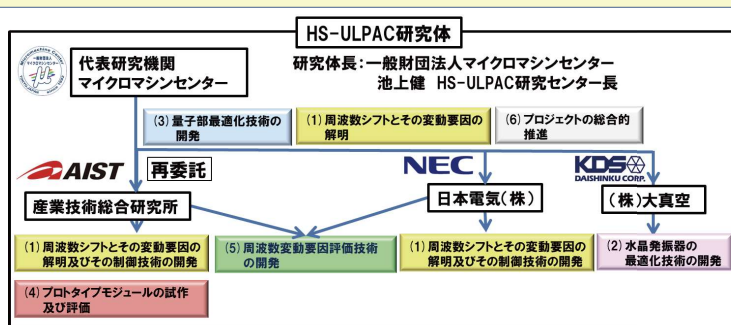
2次元回折格子で回折された光によるCsからの蛍光

試作した2次元回折格子

孤立状態原子生成用デバイス開発

小型真空計

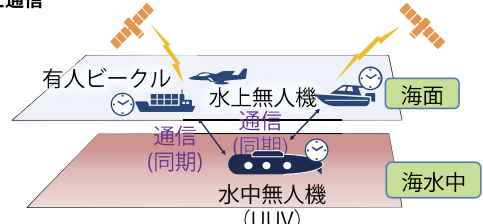
研究体制



海洋応用展開

※6 GNSS: Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム) 地球の上空数万kmを周回する人工衛星と通信し、地球上のどの場所にいるかを正確に割り出すシステム

- ・GNSS※6が使えない状況下での位置情報取得や移動体の自立慣性制御
- ・時刻同期/キャリブレーションが難しい状況での空間光や超音波を介した通信



※本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けたものである。