

## 集積化可能なレーザ冷却の新技术を半導体チップ上で実証 ——光照射だけでメカニカル振動子の熱ノイズを低減することに成功

NTTと国立大学法人東北大学は共同で、高感度センサや高精度発振器に広く用いられているメカニカル振動子\*1の熱ノイズを、レーザ光を照射するだけで低減できる新しい原理のレーザ冷却手法を実現しました。なお、本研究の一部は独立行政法人 日本学術振興会 科学研究費補助金の援助を受けて行われました。

### ■今回実現した素子の概要

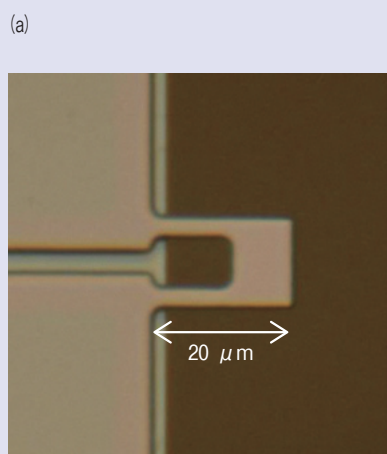
研究チームが動作の実現に成功したメカニカル振動子の心臓部は、長さ20  $\mu\text{m}$ 、幅14  $\mu\text{m}$ 、厚さ0.4  $\mu\text{m}$ の小さな板バネです(図(a))。このメカニカル振動子は極めて軽量であるため、熱エネルギーによるランダムな振動(熱ノイズ)が発生します。今回、光学特性と圧電特性に優れたガリウム砒素(GaAs)とアルミガリウム砒素(AlGaAs)の2層構造を用いて振動子を作製することにより、レーザ光を振動子に照射するだけで熱ノイズを抑えることに成功しました。光共振器を用いずにメカニカル振動子のレーザ冷却を実現したのは、世界で初めてといえます。

### ■技術のポイント

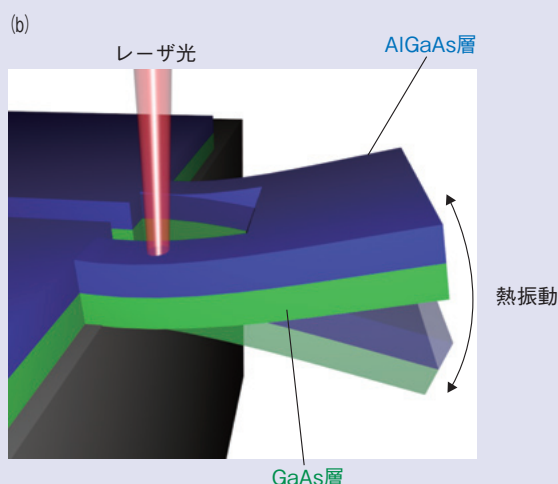
(1) 優れた光学特性を有する半導体2層構造の利用

GaAsとAlGaAsによる多層構造は、特徴的で優れた光学特性を持つ半導体薄膜材料として知られており、古くから発光・受光素子として用いられてきました。今回、高品質の結晶成長技術と微細加工技術を駆使してGaAsとAlGaAsの2層構造からなるメカニカル振動子(図(b))を作製しました。この構造では加工によるダメージが極めて小さく、鋭い光吸収特性を有することが確認されました。この鋭い吸収特性は、これまで用いられてきた光共振器と類似の役割を果たし、レーザ冷却を実現します。

\*1 メカニカル振動子(機械振動子):弾性変形を周期的に繰り返すことにより機械的な振動が継続する人工構造。鐘や鉄琴など楽器の振動板もメカニカル振動子の一種です。最近では微細加工技術の発展に伴い、髪の毛よりも小さな機械振動子を半導体チップに集積することも可能になっており、MEMS振動子として実用化が進められています。メカニカル振動子のもっとも代表的な形状は本研究でも用いられているカンチレバーと呼ばれるもので、プールの飛び込み台に類似した形状をしています。



作製したメカニカル振動子の顕微鏡写真です。プールの飛び込み台のように、構造の右側が自由に上下できる構造になっています。



実験方法を模式的に示した図です。振動子は200 nm厚のAlGaAsと200 nm厚のGaAsの2層薄膜により作製されています。熱揺らぎによりこの振動子は上下に揺れますが、振動子の根元にレーザを照射することにより、この熱振動を抑えることに成功しました。

図 実現したメカニカル振動子の構造

## (2) 圧電効果を用いた振動の制御

GaAs/AlGaAsが有する圧電効果を活用し、吸収された光が引き起こす制動力により熱振動を抑えることに成功しました。地震による建物の揺れを抑える技術としてアクティブ制振技術\*2が昨今注目されています。この技術では、建物の揺れをすばやく検出し、それを抑える方向の制

\*2 アクティブ制振技術：地震などの際、建物の動きを検知して、その動きを止めるような逆向きの力を加えることにより、建物の揺れを抑える技術。例えば、ビルが右側に揺れたとき、その揺れを検知して左向きに力を加えれば、揺れは小さくてすみます。同様の技術は、ノイズキャンセリングヘッドホンなどに応用されており、不要なノイズ（揺らぎ）を抑える手法として広く用いられています。本成果では、半導体を持つ鋭い光吸収特性と圧電効果により自然に発生する同様のノイズ低減効果を利用しました。

動力を外部から加えることにより振動を減衰させます。本研究では、光吸収によって生じた内部電圧を圧電効果により制動力に変換し、熱振動を半分に抑えることに成功しました。

### ◆問い合わせ先

NTT先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail a-info@lab.ntt.co.jp

URL <http://www.ntt.co.jp/news2015/1510/151019a.html>

## 不思議を発見、新たな技術へ

岡本 創

NTT物性科学基礎研究所

量子電子物性研究部 複合ナノ構造物理研究グループ

主任研究員

今回の成果につながる新しい物理現象を最初に発見したのは約7年前のことでした。半導体の微小な板バネ構造の振動をレーザーで測る実験を実習生とともに進めていた際に、ある特定の部位にレーザーを当てると板バネが発振する現象を見付けました。これは何だということ、そこからこの不思議な現象を解明するための研究に大きく舵を切ることになりました。しばらくしてこの現象が半導体のバンドギャップに関係することをつきとめ、レーザー波長を調節するだけで板バネの振動を増幅したり減衰させたりと制御できることが分かってきました。急いでこの成果を論文投稿しましたが、何分にも新しい現象であったため、審査員に納得してもらうまでに2年近くの歳月を要してしまいました。今回の成果である「熱ノイズの低減」を実現するにはさらに制御効率を大きく改善する必要があったため、果たして本当に可能なのか見えない部分もありましたが、研究者間の連携がうまく運び、それから約3年後に実現することができました。

基礎研究は計画から論文化まで時間がかかり、大変な部分も多いですが、そんな中でも予測したとおりの実験結果が出たときなどは研究活動の楽しさを感じることができます。

また、全く予期せぬ現象に遭遇したときにはとても大きなワクワク感を味わうことができます。次はどちらの方向に研究が進むのか、自分でも分からぬ次の展開を楽しみに、日々研究に取り組んでいます。

## 研究者 紹介

