

TECH+ > テクノロジー > サイエンス > 京大など、量子アニーリングを次世代レーザーの設計に用いて高性能化に成功

京大など、量子アニーリングを次世代レーザーの設計に用いて高性能化に成功

2022/09/12 16:09

著者：波留久泉



京都大学

慶應義塾大学

量子技術

早稲田大学

京都大学(京大)、慶應義塾大学(慶大)、早稲田大学(早大)の3者は9月9日、高出力かつ高ビーム品質で動作可能という特長を有する次世代半導体レーザー「フォトニック結晶レーザー(PCSEL)」の設計において、量子アニーリングによる組合せ最適化手法を適用することにより、従来設計と比較して、レーザーの性能を向上できる新設計を見出すことに成功したと発表した。

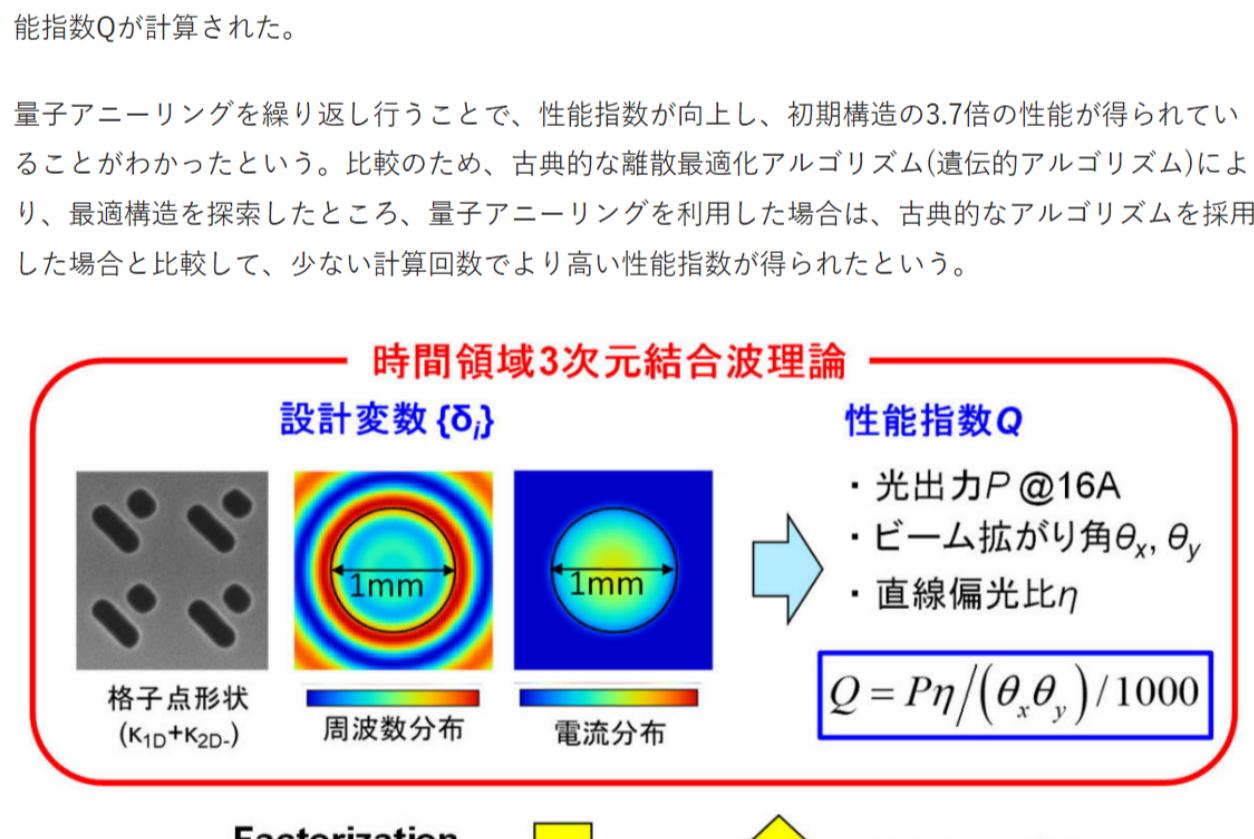
同成果は、京大大学院 工学研究科の井上卓也助教、慶大大学院 理工学研究科の関優也特任講師、同・大学 理工学部の田中宗准教授、早大 理工学院の戸川望教授、京大大学院 工学研究科の野田進教授らの共同研究チームによるもの。詳細は、2022年9月21日に開催される「第83回応用物理学会秋季学術講演会」にて発表される予定だという。

量子アニーリングは、一般的な製造分野における最適化問題への応用でも注目されているが、製品設計や製造プロセスの最適化など、複雑な物理現象を伴う多くの問題は、一般にはイジングモデルによる定式化が困難であるため、実際に量子アニーリングが適用された例は少なく、スマート製造分野への適用可能性については、明らかではなかったという。

そこで研究チームは今回、製造分野の最適化問題への量子アニーリングの適用可能性を検証するための例題として、将来のスマート加工用レーザー光源としての普及が期待されるPCSELの構造最適化問題に取り組むことにしたという。

PCSELは、光を增幅する活性層の近傍にフォトニック結晶層を設けた面発光レーザーで、フォトニック結晶層の内部を伝搬する光波の相互結合を制御・活用することにより、原理的に、大面積・単一モード動作が可能という優れた点を有している。

ただし、これまでのPCSELの設計では、光源内で一様なフォトニック結晶を採用したデバイス設計にとどまっていた。本来、PCSELでは、面内の場所ごとにフォトニック結晶の形状を変化させた“空間分布の設計”が可能であり、そうした大きな設計自由度を上手く活用することができれば、PCSELの性能を向上させることができると期待されていた。



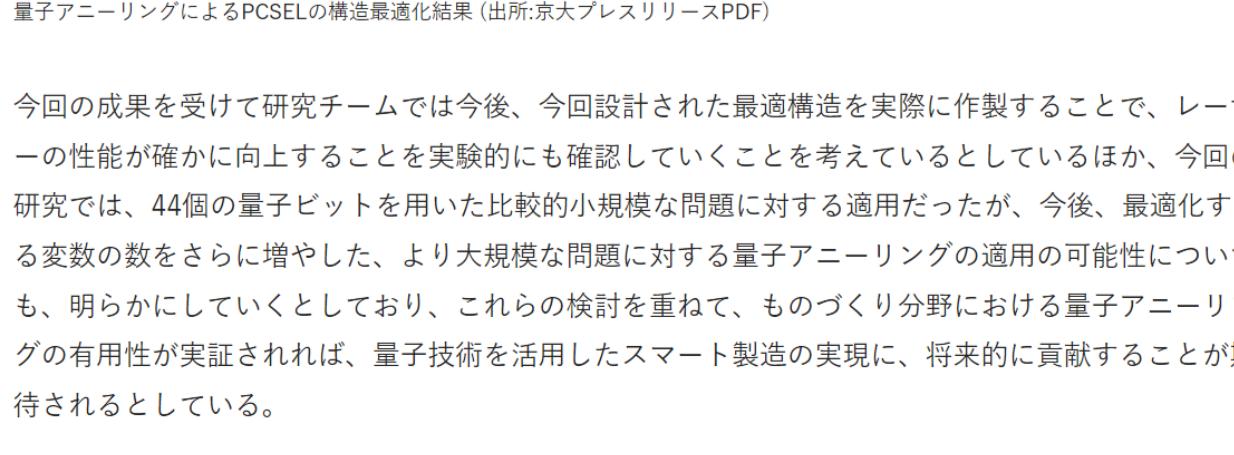
今回の研究では、直径1mmの二重格子PCSELを設計の対象として、以下の3種類の変数を同時に最適化することが試みられた。

1. フォトニック結晶の格子点形状(より正確には、格子点形状と一対一に対応する結合係数 $\kappa_{1D} + \kappa_{2D}$ の実部と虚部)
2. 光源面内のフォトニック結晶の発振周波数の空間分布
3. 光源面内の注入電流分布

これらの各構造変数については、構造の作製可能性を考慮して、上限値と下限値を設定した上で離散化を行うことで、44個の量子ビット δ_i ($1 \leq i \leq 44$) で表現し、計244通りの候補の中から、最も高いレーザー性能が得られる構造が探索された。

構造最適化は、まず10組のランダムな構造変数の組に対して、光とキャリアの相互作用を考慮したPCSELの解析手法(時間領域3次元結合波理論)を用いて、レーザー特性の解析が行われ、各構造の性能指数Qが計算された。

量子アニーリングを繰り返し行うことで、性能指数が向上し、初期構造の3.7倍の性能が得られていることがわかったという。比較のため、古典的な離散最適化アルゴリズム(遺伝的アルゴリズム)により、最適構造を探したところ、量子アニーリングを利用した場合は、古典的なアルゴリズムを採用した場合と比較して、少ない計算回数でより高い性能指数が得られたという。



量子アニーリングによるPCSELの構造最適化手法の概要 (出所:京大プレスリリースPDF)

さらに、量子アニーリングによる最適構造について、光出力・ビーム品質・直線偏光比のそれぞれの値を別途計算したところ、従来設計(一様構造)と比較して、すべての性能が向上していることが確認され、PCSELの最適化問題に対する、量子アニーリングの有用性が示されたとする。

今回の成果を受けて研究チームでは今後、今回設計された最適構造を実際に作製することで、レーザーの性能が確かに向上することを実験的にも確認していくことを考えているとしているほか、今回の研究では、44個の量子ビットを用いた比較的小規模な問題に対する適用だったが、今後、最適化する変数の数をさらに増やしたり、より大規模な問題に対する量子アニーリングの適用の可能性についても、明らかにしていくとしており、これらの検討を重ねて、ものづくり分野における量子アニーリングの有用性が実証されれば、量子技術を活用したスマート製造の実現に、将来的に貢献することが期待されるとしている。