# Исследователям из ФТИ им. А.Ф. Иоффе и их коллегам удалось добиться сверхфокусировки излучения полупроводникового лазера за счет самоинтерференции его луча

**Сверхфокусированный лазерный луч успешно использовали как оптический «пинцет» для перемещения микроскопических объектов. Кроме этого, метод открывает возможности для широкого распространения полупроводниковых лазеров в обработке материалов и 3D печати.**

Работа ученых из питерского Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе и международной команды исследователей из Греции и Великобритания позволяет существенно улучшить свойства луча полупроводникового лазера.

Преимущества полупроводниковых лазеров хорошо известны ученым и инженерам: они эффективнее, компактнее и дешевле лазеров других типов. Но, с другой стороны, «качество» их излучения не слишком высоко. Это проявляется в том, что луч мощного полупроводникового лазера плохо поддается фокусировке. В результате площадь фокусного «пятна» оказывается в десятки, а то и в сотни раз больше теоретического предела. Из-за этого пропорционально уменьшается достижимая плотность мощности, что препятствует использованию полупроводниковых лазеров для обработки материалов.

Идея, предложенная в ФТИ для устранения этого недостатка, состоит в том, чтобы создать так называемый пучок Бесселя. В таким пучке мощность лазерного излучения остаётся постоянной по ходу его распространения, а чтобы создать его, лазерный луч следует направить в специальную коническую линзу. Такая линза фокусирует лазерное излучение за счет того, что «заставляет» разные его составляющие (т.н. «моды») интерферировать сами с собой. Это приводит к тому, что поперечный размер лазерного пятна в фокусе приближается к теоретическому пределу, а протяженность фокуса увеличивается.

Эта идея успешно подтвердилась в эксперименте, и в частности в новой работе, результаты которой опубликованы в новом выпуске Scientific Reviews 2 октября 2018 г., посвящена оценке возможностей использования такого лазерного пучка в первую очередь для биомедицинских применений.

В эксперименте луч лазера направлялся в волновод — оптическое волокно, на выходе из которого располагалась коническая линза. Исследовали два варианта линзы — с углами при вершине конуса 140 и 160 градусов и радиусом скругления вершины менее 10 микрометров. Они были созданы с помощью метода мультифотонной литографии непосредственно на срезе оптоволокна диаметром 100 микрометров (одна десятитысячная метра).

«Наши греческие коллеги в Институте электронных структур и лазеров (IESL-FORTH) специально приспособили существующую установку 3D нанопечати для того, чтобы работать непосредственно с оптоволокном», — поясняет Григорий Соколовский, сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе и первый автор опубликованной статьи.

В эксперименте использовался лазер с длиной волны 960 нанометров и параметром распространения М2=18. С помощью конической микролинзы с углом 140 градусов пучок удалось сфокусировать до размеров 2–4 микрометров в поперечнике при длине распространения волны около 20 микрометров. Это практически на порядок меньше, чем можно добиться с помощью «идеальной» сферической линзы с единичной числовой апертурой от луча с такими же параметрами.

А с помощью конической линзы с углом 160 градусов исследователи продемонстрировали возможность оптический манипуляций с клетками — а именно с красными кровяными клетками крысы, средний размер которых — 5–6 микрометров. В эксперименте их удавалось успешно захватывать и переносить на значительные расстояния.

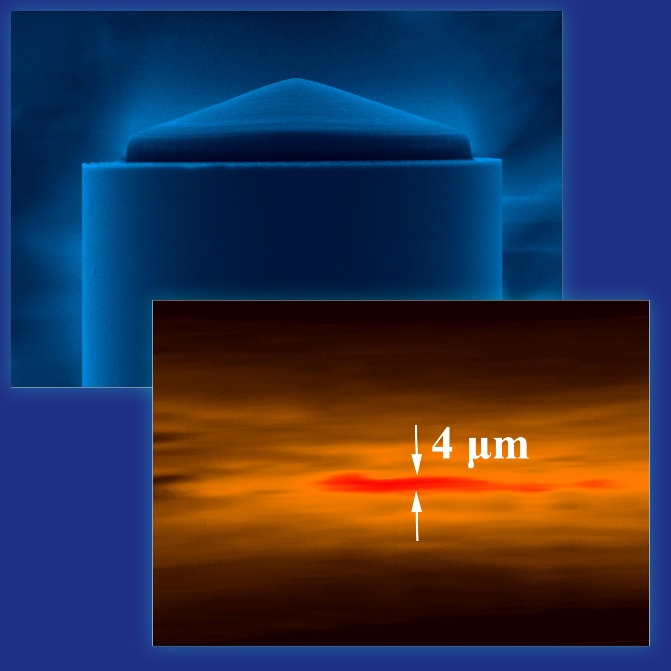
«В более ранних работах мы показывали, что можно создать пучок Бесселя, даже используя полупроводниковый лазер с очень плохими спектральными характеристиками и даже светодиод, — поясняет Григорий Соколовский. — В этой работе сделан следующий шаг: нам удалось показать, что можно создать пучок Бесселя даже из лазерного луча с очень плохими пространственными характеристиками, а это открывает новые возможности для использования мощных полупроводниковых лазеров».

В числе таких применений — обработка материалов и 3D печать. Сейчас в этой сфере полупроводниковые лазеры используются в основном для накачки твердотельных и волоконных лазеров, поскольку нужны и большая мощность, и точная фокусировка. Если этих характеристик удастся добиться от самих полупроводниковых лазеров, то размер установок значительно уменьшится, эффективность вырастет, а цена существенно снизится.

Пресс-релиз подготовила Ольга Закутняя

Grigorii S. Sokolovskii, et al. 3D laser nano‐printing on fibre paves the way for super-focusing of multimode laser radiation, *Scientific Reports*, 8, Article number: 14618 (2018) <https://www.nature.com/articles/s41598-018-32970-6>

## Сверхфокусировка излучения полупроводникового лазера за счет самоинтерференции его луча. Иллюстрации



Коническая линза (угол при вершине 140 градусов) на срезе оптического волокна диаметром 100 мкм, полученная путем 3D нанопечати, и продольное распределение сверхфокусированного лазерного луча. Поперечный размер луча — 2–4 мкм, расстояние распространения луча — около 20 мкм