Самый маленький в мире оптический гироскоп: перспектива нового витка в оборудовании для навигации

Новая схема детектирования, способная помочь созданию самого маленького в мире гироскопа, описана учеными. Гироскопы являются необходимыми компонентами в различных областях технических приложений, включая инерциальные системы навигации, которые дают возможность осуществлять мониторинг движения объекта и его ориентации. Они используются в космических зондах, спутниках и ракетах для точного управления полетом. Как и для других критически важных компонентов аэрокосмической технологии, для практического применения таких схем одной из первостепенных характеристик является вес.

Перевод: Святослав ЮРЬЕВ

На рисунке представлены схематические изображения изменения вида дальнего поля микроскопического резонатора — от симметричного до весьма асимметричного. Две камеры справа отображают эти изменения.

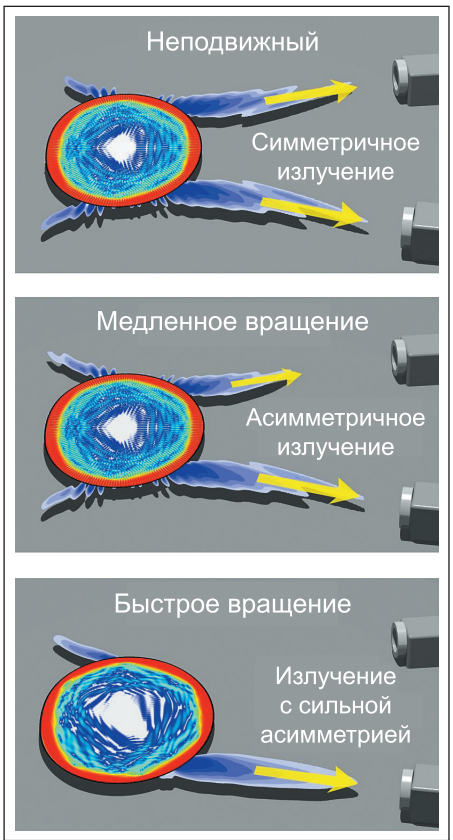

Рисунок. Схематические изображения изменения вида дальнего поля микроскопического резонатора — от симметричного до весьма асимметричного

Пара световых волн — одна движется навстречу другой по круговому микроскопическому треку — может стать ключом к созданию самого маленького в мире гироскопа. Ширина трека составляет доли толщины человеческого волоса. Приводя эту технику к абсолютно новому масштабу, группа специалистов в области прикладной физики надеется создать новое поколение (помимо других захватывающих воображение приложений) феноменально компактной навигационной системы, основой которой является гироскоп.

«Мы спроектировали новую схему детектирования, способную привести к разработке самого маленького в мире гироскопа, — говорит Ли Дже (Li Ge). — Хотя эти так называемые оптические гироскопы не являются новинкой, наш подход к их разработке уникален как в смысле сверхмалого размера, так и в отношении потенциальной чувствительности».

Дже и его коллеги, физик Уи Цяо (Hui Cao) и ее студент Рактим Сарма (Raktim Sarma) из Йельского университета (г. Нью Хевен, Коннектикут), недавно опубликовали результаты своей работы в новом журнале Optica, который издает Оптическое общество США.

В ряде технических областей, таких как инерциальные системы навигации, гироскопы являются неотъемлемой частью оборудования. С их помощью осуществляется контроль направления движения и ориентации. Такие системы представляют собой основу для оборудования точного управления полетом космических зондов, спутников и ракет. Как и для многих компонентов аэрокосмической техники, в этом случае вес становится проблемой первостепенного значения. По данным NASA, стоимость каждого фунта, поднятого на орбиту, составляет около $10 000. По этой причине разработка базовых компонентов, которые меньше и легче известных, остается главной целью инженеров и менеджеров проектов.

Как правило, для создания оптических гироскопов инженеры используют два подхода, основанных на эффекте Саньяка. В первом случае применяется оптический резонатор, а во втором — оптическое волокно, по которому проходит свет.

В настоящее время второй подход наиболее практичен, поскольку чувствительность гироскопа можно легко увеличить с помощью отрезков оптического волокна большей длины (в некоторых случаях — длиной до 5 км). Волокно такой длины наматывается на объект диаметром около 5 см. Причем общий размер устройства оказывается практически приемлемым. Такая система весьма чувствительна к вращению, но существуют физические ограничения на длину волокна и величину минимально допустимого радиуса его изгиба до механического повреждения собственно волокна.

Использование действительно маленьких оптических резонаторов, в которых эффект Саньяка проявляется как слабое изменение цвета излучения, — вариант предпочтительный. Проблемой остается снижение чувствительности гироскопов такого типа при сокращении размеров резонатора.

«Эта проблема — камень преткновения, препятствующий многим ученым в разработке крошечных оптических гироскопов, —

отмечает Дже. — Было сделано несколько попыток преодолеть данное ограничение, но не удалось в необходимой степени понять, как именно использовать эффект Саньяка».

В новой работе исследователи смогли преодолеть это препятствие благодаря абсолютно новому подходу, основанному на применении характеристик излучения в дальней зоне. Исследователи отказались от использования изменений цвета оптического излучения, придя к выводу, что можно измерять характеристики оптического излучения в поперечном сечении в дальней зоне при возбуждении резонатора светом.

«Именно это стало ключом нашей инновации: мы выявили новый вид сигнала, который имеет повышенный отклик на вращение, — сказал Ли Дже. — И установили, что оптические гироскопы, оптимизированные под генерацию и детектирование сигнала нового типа, могут иметь в поперечном сечении размер менее 10 мкм, меньше толщины человеческого волоса».

Это напоминает вращение осветительной лампы без абажура. Вы не можете видеть непосредственное вращение, но на уровне малых размеров вращение само по себе генерирует малый релятевистский эффект — пространство слегка искривляется в источнике излучения и вокруг него. Причем изображение поперечного сечения оптического излучения незначительно искажает проекцию луча на стене. Если данное искажение измерить, то по его степени можно вычислить скорость вращения.

Вращение гироскопа

Для того чтобы оптический гироскоп начал работать, прежде всего световые волны должны быть введены в оптический резонатор. При этом световые волны, естественно, двигаются в противоположных направлениях — по часовой стрелке и против нее. Такая картина подобна эффекту воздействия на гитарную струну на ее среднем участке: вибрации распространяются в обоих направлениях одновременно.

Тщательный расчет формы оптического резонатора предоставил возможность исследователям управлять местоположением точек, в которых свет выходит из резонатора. Обычно резонаторы проектируются так, чтобы удерживать свет как можно дольше. В данном случае перед учеными стояла задача найти компромисс между способностью резонатора удерживать свет и необходимостью выводить часть излучения для того, чтобы создать изображение поля в дальней зоне. Изображение регистрируется двумя детекторами, подобными видеокамере, обращенными к резонатору под разными углами. Детекторы перемещаются вдоль резонатора, что позволяет им непрерывно регистрировать изображение светового поля и, соответственно, измерять скорость вращения.

Хотя в этом случае определяется скорость вращения только в одной плоскости движения, комбинация таких датчиков с различной ориентацией даст возможность полностью отразить движение в трехмерном пространстве.

Следующие шаги в исследованиях и развитии технологии

По словам ученых, необходимы дополнительные исследования, связанные с возможностью одновременного существования многих мод, или траекторий распространения света, в резонаторе. Изображения таких излучений в дальней зоне способны изменяться по-разному, что приводит к снижению чувствительности отклика на вращение. В настоящее время ведется разработка различных методов управления этим эффектом.

Литература

1. Ge L., Sarma R., Cao H. Rotation-induced evolution of far-field emission patterns of deformed microdisk cavities // Optica. 2015. 2 (4). 323 DOI: 10.1364/OPTICA.2.000323. www.sciencedaily.com/releases/2015/04/150401093625.htm?utm_source=feedburner&utm_medium=email&utm_campaign=Feed%3A+sciencedaily%2Fmatter_energy%2Felectricity+%28Electricity+News+--+ScienceDaily%29