

Всё под контролем

Ученые Института автоматики и электрометрии СО РАН создали технологию лазерной обработки, которая позволяет наносить мельчайшие шкалы и сетки на стеклянные изделия при минимальном участии оператора. Установка уже внедрена в производство на АО «Швабе – Оборона и Защита»



изделий и других диэлектриков с минимальным участием оператора», — рассказывает сотрудник ИАиЭ СО РАН кандидат технических наук **Евгений Дмитриевич Булушев**.

1 фемтосекунда — 10^{-15} секунды (для сравнения, микро — это 10^{-6} , нано — 10^{-9} , пико — 10^{-12})

Стартом к этой работе послужил грант Минобрнауки, полученный ИАиЭ СО РАН совместно с АО «Швабе – Оборона и Защита». Предприятие входит в холдинговую структуру АО «Швабе» в составе государственной корпорации «Ростех» и является крупнейшим в России изготовителем переносных приборов наблюдения и разведки. Задачей инженеров и ученых Института автоматики и электрометрии СО РАН являлась разработка и создание лазерного технологического комплекса прецизионной обработки оптических элементов (формирование сеток, масок, шкал, лимбов). Чтобы осуществить это, на базе лаборатории лазерной графики ИАиЭ СО РАН под руководством кандидата технических наук **Виктора Павловича Бессмельцева** объединились специалисты различных областей: конструкторы, оптики, программисты, инженеры-электронщики.

В итоге была разработана технология и создана лазерная фемтосекундная станция, которая позволяет наносить сетки не только на плоские поверхности, но и на искривленные (различные призмы, полусферы). Она функционирует следующим образом: на входе системы подается чертеж, где изображены все элементы сетки, заданы их размеры, расположения и допуски на них. Он преобразуется в CAD-модель, по которой с помощью специального модуля вычисляются траектории перемещения лазерного пучка. Далее на стол разработанной системы (площадка 200x200 мм) укладывается заготовка, и производится съемка ее поверхности с помощью трехкоординатной системы позиционирования и встроенной системы технического зрения. Оператор размещает CAD-модель поверх полученных изображений и запускает обработку. С помощью встроенного датчика лазерный пучок фокусируется на поверхности образца, и, перемещаемый быстрыми сканерами, со скоростью до метра в секунду движется по рассчитанным траекториям по поверхности обрабатываемой детали, формируя линии сетки. Зона записи ограничена размерами объектива и составляет 5x5 мм², однако система позволяет формировать сетки площадью до 200x200 мм², с помощью специальных программ разбивая их на более мелкие зоны записи сканеров и перемещения стола.

У оператора есть еще одна важная и сложная задача — подобрать параметры обработки: энергию, частоту, перекрытие импульсов, длину волны излучения и многое другое. Если они окажутся неоптимальными, линии получатся слишком толстыми либо вообще не будут сформированы, также могут возникать дефекты — сколы и микротрещины. «Моя работа заключалась в том, чтобы разработать методы автоматического контроля качества и минимизировать образование таких дефектов», — говорит Евгений Булушев. — Мы создали технологию оптимизации лазерной микрообработки, основанную на проведении и быстрой обработке серии

тестовых экспериментов, сформированных при различных технологических режимах. Был создан сканирующий профилометр, который позволяет автоматически измерять сформированные объекты, совмещать их с CAD-моделью, выделять их границы, определять размеры, формы и расположения, сопоставлять с заданными параметрами по указанным в чертеже допускам и обнаруживать дефекты обработки. В аналогичных зарубежных установках такие измерения обычно проводятся вручную, что сильно затрудняет их использование».

Технологический лазерный комплекс уже поставлен на завод «Швабе – Оборона и Защита» и интегрирован в производство. Его внедрение позволило освоить выпуск изделий для оптико-электронных приборов нового поколения при точностях и производительности на порядок выше, чем у использованных ранее технологий. Но ученые продолжают совершенствовать разработку. «Стандартную запись сеток мы проводим на длине волны 1026 нанометров. Сейчас мы хотим уйти во вторую-третью гармонику (513 и 342 нанометра соответственно). Меньшие длины волн дают меньший размер пятна, лучшее разрешение», — рассказывает Евгений. — К тому же хочется достигнуть полной автоматизации процесса. Пока мы получаем статистические зависимости показателей качества от технологических параметров обработки, а по ним уже высококвалифицированный оператор определяет оптимальный режим. Также желательно, чтобы контроль качества проводился в реальном времени. Допустим, в процессе обработки обнаруживается, что за слой материала удаляется на два микрометра меньше, чем требуется, тогда система может автоматически откорректировать либо режим, либо траектории перемещения лазерного пучка. Решением данной задачи активно занимаются на западе, однако установок с такими возможностями до сих пор не создано. Помимо этого, сейчас мы обрабатываем по одному объекту за раз, что недостаточно эффективно при серийном производстве. В настоящее время мы расширяем технологию до возможности обработки «паллетами», в этом случае на стол устанавливается форма с несколькими десятками или сотнями заготовок, и система в полностью автоматическом режиме определяет их расположение и производит запись сеток. Это позволит значительно минимизировать работу оператора, однако решение задачи требует значительного усложнения программного обеспечения».

Еще одно перспективное направление науки, в котором может пригодиться фемтосекундная лазерная микрообработка — формирование микроканалов и биочипов на поверхности и внутри стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок. Эти структуры используются биологами и химиками для одновременного проведения сотен или даже тысяч биохимических реакций, а также при изучении течений и взаимодействий жидкостей нано- и пико-объемов. Сегодня системы микроканалов и биочипов для подобных исследований заказываются преимущественно за рубежом, за большие деньги.

Подготовила Диана Хомякова
Фото предоставлено Евгением Булушевым

Технологии лазерной микрообработки применяются при решении широкого круга задач. С их помощью проводится полировка, маркировка, резка и гравировка различных материалов. Одно из приложений — нанесение на поверхность стекла шкал и калибровочных сеток. В микроскопах и астрономических приборах такая разметка позволяет наиболее точно измерить параметры космического тела или какого-то мельчайшего объекта, отследить их передвижение; в системах военного назначения — создавать прицелы, современную оптику дневного и ночного видения. Главным требованием является точность обработки — строгое соблюдение размеров, формы объектов и расположения элементов относительно друг друга и заготовки.

Раньше такие сетки делались преимущественно механическим гравированием защитного слоя с последующим травлением — методом удаления материала с использованием кислот. Помимо того, что эта технология многостадийная, трудоемкая, дорогая, плавиковая кислота, которая здесь используется, опасна и чрезвычайно вредна, самое главное — таким методом невозможно создавать сетки, удовлетворяющие современным требованиям производства.

Лазерная микрообработка представляет ей отличную альтернативу. «Для удаления материала мы используем фемтосекундное лазерное излучение. Его особенность: очень короткая длительность импульсов — несколько сотен фемтосекунд. Мы впервые в России разработали технологию и внедрили в серийное производство систему, с помощью которой можно проводить прецизионную лазерную обработку стеклянных