

## ОПТАТЕС-2016.

### НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОГО СТАНКОСТРОЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА



Выставка Optatec-2016 прошла в Германии в июне 2016 года во Фракфурте-на-Майне в выставочном центре Messefrankfurt. Традиционно выставка ориентирована в первую очередь на внутренний рынок оптической промышленности Германии. На ней представлены новейшие оптические технологии производства компонентов и систем, получившие внедрение в индустриальные машины и уже используемые в станкостроении. Принимая позицию Германии как лидера оптического станкостроения, понимаешь, что именно здесь можно встретить новинки оптического производства, ознакомиться с тенденциями оптического станкостроения и контрольно-измерительного оборудования. Специалистам предоставлена великолепная возможность наблюдать проникновение инноваций вакуумной, электронной и фотонной технологий в структуру новейших машин.

**Е**сли учесть, что плата за аренду под экспозицию прямо пропорциональна занимаемым площадям, то по размерам стендов можно составить приблизительное мнение о финансовом могуществе компаний. С этой точки зрения будет любопытно узнать, что на выставке Optatec-2016 самые большие площадки заняли экспозиции станкостроительных компаний: Satisloh, OptoTech и Shneider, а также производителя измерительного оборудования – компании Trioptics, и сеть научных институтов – Fraunhofer. Далее по занимаемой площади шли производитель уникальных стекол для различных индустриальных приложений – компания SHOTT, создатели контрольно-измерительных приборов AMETEC и THORLABS, производитель уникальных гексаподов и трекеров Pi miCos, разработчик всевозможных датчиков Hamamatsu. Начнем свой обзор со станкостроительных компаний.

Компания OptoTech ([www.optotech.de](http://www.optotech.de)) – один из лидеров на рынке оптического прецизионного станкостроения. На сегодняшний день компания OptoTech предлагает самый широкий выбор станков: шлифовальных, полировальных, центрировочных и контрольно-измерительное оборудование. Основатель и президент компании Роланд Мандлер начинал свой бизнес в 1985 году. Глубоко понимая особенности обработки прецизионной оптики и технологические задачи, стоящие перед каждым производителем оптических деталей, он создал цельную линейку оборудования для производства прецизионной оптики. Станки ком-

пании OptoTech позволяют обрабатывать оптические детали с размерами в диапазоне 1-2000 мм. Таким образом, компания предлагает станки для решения практически любых технологических задач в области прецизионной и очковой оптики. OptoTech поставляет полностью укомплектованные технологические линии, дополненные инструментом и расходными материалами.

Среди новинок OptoTech на выставке был представлен шести координатный полировальный и доводочный центр MCP 150 CNC 6-Axis, предназначенный для полировки и доводки сферической и асферической оптики, а также поверхностей свободных форм. Рабочий диапазон обрабатываемых деталей: для сферических форм диаметр 10-120 мм, для асферики – 10-180. Новинкой для посетителей стал центрировочный станок для обработки сферической и асферической оптики диаметром до 80 мм ZM 50 CNC TC с программным обеспечением OptoEdge и новой технологией зажима.

Специально для производства микрооптики создан шлифовальный станок SM 30 CNC TC, предназначенный для грубой и тонкой шлифовки под полировку кольцевым алмазным инструментом сферических линз диаметром 2-40 мм. А полировщик SPX 80 NC привлекателен для создателей деталей с диаметром до 80 мм и с высокой оптической апертурой до 120° своей низкой стоимостью. Компания OptoTech представила на выставке специализированный сверлильный станок OCD 400 для работы с материалами, подобными стеклу,

кварцу и керамике. Станок полезен в серийном производстве микрооптики. Поскольку функции фильтров, светоделительных пластин, поляризаторов и зеркал в большинстве случаев зависят от качества нанесенного покрытия, то компания вывела на рынок установку для нанесения тонких слоев в среде глубокого вакуума OAC-60F вместимостью на 34 линзы диаметром 70 мм. В установке использованы последние достижения вакуумной техники: электронно-лучевой испаритель, ионный плазменный источник, инфракрасная система нагрева подложек, кварцевый резонатор для контроля толщины и роста слоев. Также в продуктовой линейке компании появился прецизионный интерферометр для контроля сферической и асферической оптики OWI 150 XT INVERS, сшивной интерферометр MSI 50 для контроля высокоапертурных сферических поверхностей диаметром до 100 мм, а также плоских поверхностей и автоколлимационный прибор для контроля центрировки и склейки или подклейки линз AZP 200.

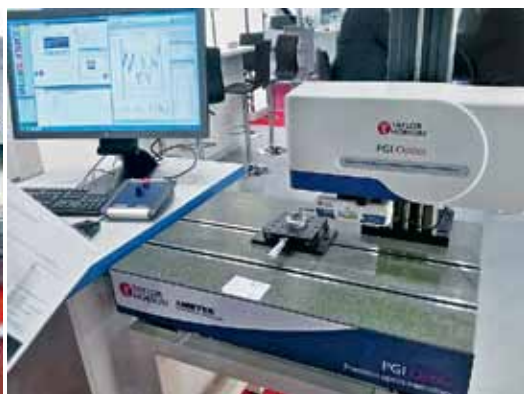
В экспозицию OptoTech вошел и ряд традиционного для компании оборудования, в том числе полировальный станок с числовым управлением для тонкой шлифовки и полировки высокоапертурной оптики PPM 80 NC, интерферометр MSI 300 для контроля высокоапертурных сферических и плоских поверхностей для макрооптики диаметром до 300 мм, цифровой сферометр DS 100, созданный для работы в цеховых условиях.

Полный ассортимент технологического оборудования и программного обеспечения для производства изделий офтальмологической и высокоточной оптики, в том числе для эндоскопических приложений, производит компания Satisloh. Создаваемая ее сотрудниками продукция выполняет все операции оптического производства: шлифовку, полировку, покрытие оптических поверхностей, центрирование. Штаб-квартира Satisloh



расположена в Швейцарии, а производственные площадки расположены в Италии и Германии. Штат сотрудников компании насчитывает 410 человек. (На российском оптическом рынке ее дистрибьютором является компания "Станкомет").) Серии станков предназначены для разных размерных диапазонов оптических деталей: от 1 до 30 мм, от 30 до 200 мм и для определенных операций до больших размеров вплоть до 500 мм (5-осевой полировальный станок GL-AP).

На выставке было представлено новое оборудование – машина SPM 200. В основе её разработки – запатентованная многофункциональная поворотная (360°) головка с двумя технологиями обработки деталей с помощью шпиндельных инструментов. SPM 200 может быть оснащена одним или двумя шпинделями. В случае работы с двумя инструментами можно получить высокую скорость или высокий крутящий момент шпинделей, в случае работы с дисковыми или шаровыми инструментами можно использовать один горизонтальный шпиндель. Сочетание различных шпинделей обеспечивает высокую гибкость инструмента и высокую воспроизводи-







мость разных этапов процесса изготовления оптических деталей сферической и асферической форм, цилиндрической и тороидальной оптики, оптики со свободной, так называемой freeforms-формой поверхности, например со спиральными, дифракционными и растровыми формами, которые предусматривают сложные режимы обработки. SPM 200 предназначена для обработки сферических деталей размерами от 5 до 140 мм и асферических – от 5 до 200 мм. Причем для асферических поверхностей разработан специальный инструмент – Adaptive Aspheric Polishing Tool (ADAPT-Tool).

Также экспонировались станки, уже занявшие на рынке оптического станочного оборудования свою нишу. Среди них машина для центровки С 50, используемая для совмещения оптической оси с осью механического инструмента при обработке микрооптики от 1 до 50 мм. Точность позиционирования 0,001 мм. А также машины для центровки С 300 с ЧПУ для диаметров 10–300 мм. Машина предназначена для центрирования цилиндров, плоскостей и создания форм скоса и окантовки. С-300 оснащена

несколькими инновационными процессами для достижения максимальной скорости и лучшего качества поверхности. С-300 обрабатывает края со сложной геометрией. В машины встроены приборы ведущих немецких компаний-производителей измерительного и метрологического оборудования TRIOPTICS, AMOTEC. Машина SPS 125 предназначена для обработки оптических сферических деталей диаметром от 10 до 125 мм, включая шлифовку и полировку, а станок SPM 125 – для деталей того же размерного ряда, но с асферическими формами поверхности.

В одном ряду с лидерами по производству станков для изготовления прецизионных и ультрапрецизионных оптических деталей, в том числе сферических и асферических зеркал и линз, стоит компания Schneider Optical Machines (schneider-om.com). Компании двадцать лет, сейчас она находится в городе Фронгаузен, в 80 км от Франкфурта, и насчитывает 430 сотрудников. Так как заказы на производство асферической или сферической оптики поступают самые разные и все зависит от задач использования, то в компании разрабатывают станки для обработки линз объективов для интерферометров и микроскопов, зеркал для лазеров, матриц для микрооптики или для автомобильных систем освещения.

Продукция компании Schneider Optical Machines охватывает изделия от уникальных станков для изготовления ультрапрецизионных оптических деталей до станков для серийного производства и компактных станков для стартапов. В компании Schneider Optical Machines также делают большие станки для производства огромных зеркал. Самый большой станок SCG-1500 весит 1000 тонн. Станок имеет в своем названии цифру 1500, это значит, что максимальный диаметр обрабатываемых линз достигает 1500 мм. Для установки в станок такой линзы для ее шлифовки и полировки требуется кран.



В компании создаются полировочные машины для двух технологий поверхностной обработки: линз со сферическими поверхностями и линз асферическими поверхностями. Станок для шлифовки SCG-100, где 100 – это 100 мм, примерный диаметр обрабатываемой линзы. Станок можно встроить в линию для серийного производства – робот прямо берет линзу, сам вставляет в станок, ПО станка автоматизирует ее контроль, и если там обнаружена какая-то ошибка, автоматически эту линзу убирает и берет следующую. Сначала идет операция шлифовки, затрачиваемое на нее время варьируется от 20 минут до 1 часа, все зависит от материала, от заданной конструктором формы и задач разработчика.

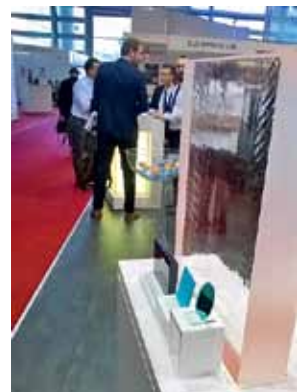
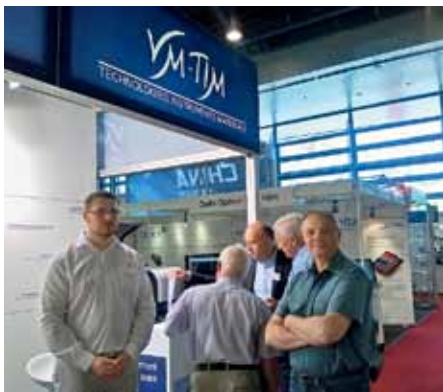
Потом наступает черед операции полировки. Но прежде, чем начнется эта операция, оператор достает линзу и сканирует номер ее маркировки. Этот номер подскажет оператору, какой инструмент необходим для полировки линзы. Причем напишет, какой именно инструмент понадобится и с каким номером. И если в станке в этот момент находится другой полировочный инструмент, то появится надпись-предупреждение для оператора "поменяйте, пожалуйста, инструмент" – вот такая "защита от дураков".

Станок SCG-250 предназначен для изготовления оптических деталей со свободными формами поверхности. Особенность этого станка в том, что ось его обработки идет не вертикально, а горизонтально. Идеология этого типа станка связана с тем, что в случае, если линза будет иметь большой диаметр и, соответственно, большой вес, то при движении линзы вверх-вниз при поднятии и опускании обязательно будут возникать напряжения в материале. Чтобы минимизировать их влияние, разработан станок с горизонтальным расположением оси обработки.

На выставке была представлена самая новейшая на тот момент разработка компании – ста-



нок для ультрапрецизионной оптики UPC -300 Ш и новая технология для полировки – APC, программа которой рассчитывает параметры процесса полировки ультрапрецизионных деталей таким образом, что оператору не требуется вводить в блок системы управления станком много каких-то рабочих параметров. Станок APC 3D предназначен для обработки асферических линз, в его систему управления внедрена новейшая технология, позволяющая точно рассчитать снос полировки. Софт, разработанный для управления полирующим инструментом учитывает такие параметры, как форма линзы, наклон инструмента, время, затрачиваемое на полировку. Инструмент, который используется для полировки, имеет специальное полиуретановое покрытие, дополнительно предусмотрено и алмазное фрезерование. Когда после шлифовки линза подвергается измерению, то ПО позволяет обнаружить ошибки шлифовки в виде отклонения формы реальной поверхности от заданной. Эти параметры автоматически передаются в систему управления полирующим инструментом, которая корректирует







ошибки. Модель, заложенная в программу расчета, позволяет оператору сначала увидеть модельный виртуальный результат. Лишь после этой операции визуализации, когда процесс подготовлен, модель переносится на полировальный станок. На полировальном инструменте меняется только кепи, её можно открыть и поставить новую.

Также на выставке была представлена машина для центрирования SCHNEIDER SLC 202. Полностью автоматизированная фиксация линз быстро достигается за счет использования уникальной технологии с автоматизированным дифференциальным зажимом. Система управления Align Control состоит из интегрированной интерактивной лазерной измерительной системы для измерения и контроля ошибки центрирования. Она позволяет на основе анализа ошибки центрирования и угла наклона с учетом показателя преломления управлять конфигурацией зажима. Таким образом, за счет автоматического контроля процесса минимизируется время наладки. Кроме того, нулевое положение корректируется автоматически.

Управления ЧПУ станка позволяет обрабатывать изделия как с осесимметричной, так и с неосесимметричной краевой геометрией при производстве деталей с прямоугольным или многоугольным контуром, причем обработка может идти в одном рабочем цикле. Соответствующие параметры задаются с помощью диалогового меню в декартовой системе координат.

Крупную долю от всех экспонатов на выставке Optatech-2016 заняли производители материалов для изготовления оптических деталей: стекла, полирующих и абразивных смесей, клеев. Вниманием пользовались приборы определения шероховатости поверхности и программы, реализующие технологии нанесения многослойных оптических покрытий. Нанесение покрытий, в том числе градиентных, крайне популярно в решениях оптических задач высокой сложности. От современной промышленности требуется изготовление широкоспектральных высокоотражающих зеркал, многоволновых светодетелей, качественных смотровых окон, отрезающих и узкополосных фильтров, оптических элементов с просветлением, работающих с учетом падения излучения под разными углами.

В этом году на выставке 25 компаний из Литвы, Израиля, России, Германии, Китая позиционировали себя как производителей сапфирового материала и деталей из него. Известно, что синтетический монокристаллический сапфир ( $Al_2O_3$ ) является ведущим материалом для высокотехнологичных оптических применений благодаря уникальному сочетанию превосходных оптических, физических и химических свойств. Он прозрачен в широком диапазоне длин волн от вакуумного УФ до ИК-области (от 0,18 до 6 мкм). Из-за своей гексагональной кристаллической структуры сапфир демонстрирует анизотропное поведение своих оптических и физических свойств. Поэтому точные характеристики опти-



ческих компонентов, изготовленных из сапфира, зависит от кристаллографической направленности по отношению к оптической оси. В этом и проявляется качество деталей, изготовленных из сапфира разными производителями.

Оптическая прозрачность сапфира в сочетании с прекрасной химической стойкостью (материал химически инертен по отношению к кислотам и щелочам при температурах ниже 1000 °С), износостойкостью и способностью выдерживать высокие температуры позволяют использовать его для создания оптических датчиков и компонентов для спектроскопии, делают его идеальным материалом для изготовления трубок и смотровых окон высокого давления, высокопрочных вакуумных окон.

Благодаря своей высокой, стабильной диэлектрической постоянной (электрические свойства сапфира зависят от кристаллографической ориентации) сапфир используют для подложек в микроэлектронике. Кроме того, сапфировые пластины используются в полупроводниковой промышленности в качестве субстрата для роста устройств на основе нитрида галлия LED (светоизлучающие диоды).

Сапфир часто используется в эндоскопии при создании линз (так как его высокая температурная прочность позволяет стерилизовать медицинские инструменты в автоклавах), в медицинском оборудовании для пластической хирургии, косметических кожных процедур.

Монокристаллический синтетический сапфир изначально, специально для часовых стекол, выращивали методом Вернелля, резали на заготовки, полировали, шлифовали и получали стекла для часов. Со временем научились выращивать сапфир другими методами: методом Киропулоса и методом Степанова. В последнее время в связи с бурным развитием микроэлектроники и развитием в мире оптических техноло-



гий производится всё больше и больше сапфира. Метод Киропулоса используется для производства больших булей сапфира, как правило, цилиндрической формы. В начале развития технологии производили були массой 3, 8, 30, 60 кг и в настоящее время выращивают уже були размером до 400–500 кг. Диаметр такой були достигает 300 мм. Разные компании выращивают були от 70 до 300 мм в диаметре и до 250 мм в высоту. Сапфировые материалы, выращенные этим способом, обычно имеют очень высокое оптическое качество с низкой плотностью дефектов. Из були вырезается чистая центральная часть, которая идет на подложки для микроэлектроники, а оставшиеся края как раз сейчас стали вырезать на часовые заготовки.

Булль может быть разрезан на подложки любой кристаллографической ориентации, которые затем используют в качестве подложек для микро- и оптоэлектроники. Этот метод применяется для изготовления подложек для синих светодиодов, так как его кристаллическая решетка позволяет наращивать эпитаксиальный слой нитрида галлия (GaN). Большим опытом в производстве







монокристаллического синтетического сапфира методом Киропулоса обладают специалисты немецкой компании Imprex HighTech, имеющей завод в Армении. Основным направлением деятельности компании Imprex HighTech является резка, шлифовка и обработка сапфирового материала для куполов, сапфировых труб высокого давления, смотровых окон для контроля за высокотемпературными процессами, прецизионных сапфировых окон и других оптических элементов, изготовленных из этого уникального материала. Imprex HighTech производит линзы, призмы, окна, ИК-оптику, поляризаторы и светоделители, изготовленные из различных стекол и нелегированных гранатов. Часть компании занимается разработкой и производством высоконадежных лазеров с длиной волны излучения 3 мкм для медицинских и научных целей.

Компания Imprex HighTech ([www.imprex-hightech.de](http://www.imprex-hightech.de)) выпускает лазеры для приложений, где необходимо получать импульсы высокой интенсивности, например в лазерной искровой спектроскопии (LIBS), маркировке, накачке фотонного кристаллического волокна

(супер континуума), лидарных измерениях, даль-  
номерах. Лазеры Imprex HighTech для научных исследований, спектроскопии, лидарных технологий, медицины, хотя построены на одинаковых физических принципах, обладают разными уникальными параметрами. Благодаря физическим свойствам используемых стекол, лазеры могут иметь низкий шум и узкую ширину линии излучения и, соответственно, большую длину когерентности. Но об этой продукции мы расскажем в следующем продолжении обзора. Сейчас в центре внимания приоритет Imprex HighTech в создании продуктов, сделанных из сапфира.

Часть компаний специализируется на другом методе создания сапфира – методе Степанова (EFG) (профилированный метод роста). Его используют для выращивания сапфира в форме трубок, стержней, листов и волокон. В этой технологии сапфировые изделия сложного профиля вытягиваются из расплава уже в виде заданного профиля. Достоинство EFG-метода заключается в том, что форма заготовки максимально приближена к форме готового изделия, и для последующей механической обработки остается минимальный припуск. Поскольку сапфир очень твердый материал, по твердости уступает только алмазу, то соответственно он обрабатывается только дорогостоящим алмазным инструментом. Ленты из монокристаллического синтетического сапфира, выращенного по методу Степанова, достигают длины до 500 мм и ширины до 80 мм шириной. Кристаллы, выращенные этим способом, могут иметь различные кристаллографические ориентации и в основном используются для промышленных и механических применений, где хорошие оптические свойства не столь важны. Скорость вытягивания сапфира из расплава составляет порядка 1 мм в минуту, поэтому для выращивания трубы длиной, например, в 30 см понадобится несколько часов.



Российская компания ROSTOX-N ([www.rostox-n.ru](http://www.rostox-n.ru)), работающая на международном рынке с 1993 года, предлагает как непосредственно изделия из сапфира, так и установки для его выращивания методами Киропулоса и Степанова (EFG). Помимо традиционных сапфировых изделий для оптической промышленности на стенде компании были представлены уникальные изделия в виде плунжеров и трубок, являющихся деталями хроматографических насосов и специальных насосов-дозаторов, используемых в химической, нефтяной и фармацевтической промышленности для разлива и перекачки как особо чистых, так и агрессивных сред. Благодаря химической инертности, сапфир не реагирует ни с кислотами, ни с щелочами, ни с агрессивными средами, поэтому из него специалисты ROSTOX-N делают плунжеры для перекачки йода, разлива духов и лекарств. Еще одно такое замечательное свойство сапфира, как его механическая прочность при высоких температурах (в ряде случаев вплоть до 1900 °C), используется для производства сапфировых тиглей и чехлов для вольфрам-рениевых термопар, также широко представленных на стенде компании.

Израильская компания Rotem Industries-Crystals ([www.rotemi.co.il/crystals](http://www.rotemi.co.il/crystals)) имеет 45-летний опыт разработок и создания защитных колпаков для антибаллистических ракет, ракет "воздух-воздух", "воздух-земля", глайдеров, противоракетных систем. На выставке компания предлагала защитные сферические колпаки для изделий DIRCM/CIRCM систем размером до 240° телесного угла разного диаметра. Уникальные свойства сапфира – оптическая прозрачность, химическая стойкость, механическая прочность и способность выдерживать высокие температуры обеспечивают функции этих изделий.

В связи с бурным развитием спектроскопии и конфокальной микроскопии, а также стремлением снизить массо-габаритные характеристики



измерительного бортового оборудования, большой интерес посетителей к себе и своей продукции вызвали изготовители дифракционных решеток – классических диспергирующих элементов. Дифракционные решетки используются и в качестве поляризаторов, и в качестве фильтров. В конфокальной флуоресцентной микроскопии в приборах нового поколения используются лазерные источники с непрерывным спектром. Действие на форму волновых фронтов тонких фазовых пластинок с вариацией оптической толщины основано на эффекте фазовой модуляции лазерного излучения. Диспергирующие элементы позволяют исследователю выбрать любую длину волны возбуждения объекта исследований, добиваясь возбуждения оптимального поглощения и перекрестного возбуждения флуоресцентного красителя. Секрет действия кроется в технологии изготовления компьютерно-синтезированных голограмм с бинарным, многоуровневым и непрерывным профилем. О компаниях, владеющих компетенциями в этой области, а также о таких производителях уникальных стекол с градиентными свойствами, как компания SHOTT, читайте в продолжение нашего обзора.

Н.Л.Истомина, Л.В.Карякина

