

КАЧЕСТВО

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ПРОФИЛОМЕТРИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ КОНТРОЛЬ
НЕРАЗРУШАЮЩИМ
МЕТОДОМ



Текст: Сергей Максимов



В современной электронной промышленности в связи с постоянным усложнением изделий и технологических процессов возрастает роль методов неразрушающего контроля микроструктуры материалов и изделий на различных стадиях обработки и изготовления. Расширение функциональных возможностей, повышение технических и эксплуатационных характеристик разрабатываемых изделий ужесточают требования к качеству исходных материалов и их технологических процессов изготовления, что стимулирует совершенствование традиционных и разработку новых методов неразрушающего контроля.



1
Модельный ряд оптических профилометров серии TopMap от Polytec

С экономической точки зрения современное полупроводниковое производство является одним из наиболее дорогостоящих и имеет самую высокую плотность капитала на квадратный метр по сравнению со всеми остальными отраслями – средняя стоимость составляет 3-4 миллиарда долларов. С технической точки зрения полупроводниковое производство – одно из самых сложных и представляет собой серию многоциклических этапов, на каждом из которых накладывается очередной слой на устройство. Каждый цикл включает этапы фотолитографии, травления, зачистки, диффузии, ионной имплантации, осаждения и химико-механической планаризации. Как правило, основная нагрузка поэтапного контроля в процессе изготовления изделия ложится на визуальную инспекцию. Поэтому в условиях конкуренции и повышения требований к качеству производимой продукции при выходе на международные и отечественные рынки, недостаточно оснастить производство современным технологическим оборудованием и материалами, необходимо также выбрать наиболее совершенные методы технологического контроля.

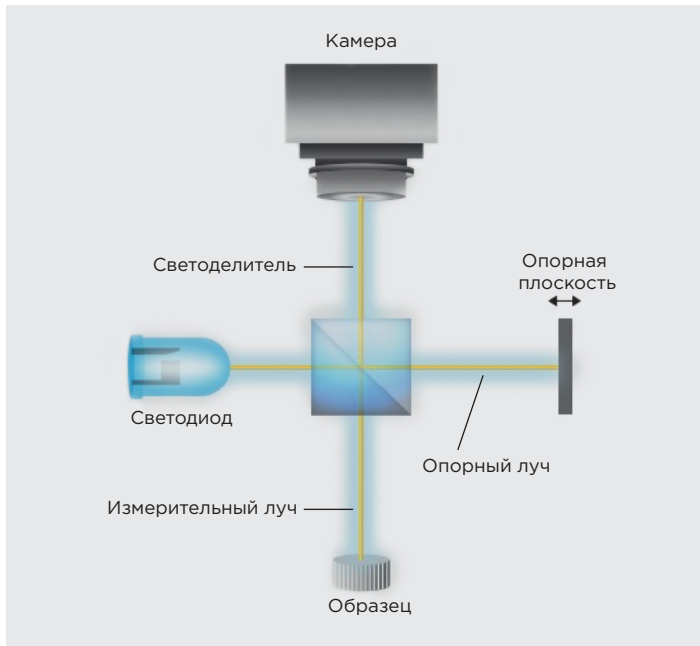
Измерение и контроль на всех этапах производства – важная и неотъемлемая часть всего технологического процесса, позволяющая точно определять физические и размерные свойства материалов. С развитием и усовершенствованием полупроводникового производства возникает потребность в сложных программных инструментах контроля.

Традиционным методом контроля топографии поверхности в полупроводниковом производстве является оптическая и электронная микроскопия. Несмотря на высокую разрешающую способность данное оборудование эффективно не на всех этапах. В статье мы рассмотрим более унифицированный

инструмент визуального контроля, в основе которого используется интерферометр белого света. Оборудование данного типа позволяет проводить структурный поверхностный анализ в субнанометровом разрешении, определять критические размеры, получать характеризацию поверхности, определять более ста параметров формы, плоскостности, параллельности, шероховатости, измерять толщины плёнок, высоты ступенек.

Компания Polytec на протяжении уже 50 лет решает задачи метрологии поверхности, используя инновационную, высокоточную, бесконтактную оптическую технологию, основанную на интерференции белого света. Технология известна как интерферометрия когерентного или вертикального сканирования поверхности с одновременным формированием 3D-модели, а сам прибор называется оптический профилометр (рис 1).

В основе работы оптического профилометра лежит двулучевой интерферометр Майкельсона. Конструктивно он состоит из светоделительного зеркала, разделяющего входящий луч на два, которые затем отражаются зеркалом обратно. На полупрозрачном зеркале разделённые лучи вновь направляются в одну сторону, чтобы, смешавшись на экране, образовать интерференционную картину. Анализируя её и изменяя длину одного плеча на известную величину, можно по изменению вида интерференционных полос измерить длину волны либо наоборот – если длина волны известна, можно определить неизвестное изменение длин плеч. Радиус когерентности изучаемого источника света или другого излучения определяет максимальную разность между плечами интерферометра. Прибор работает в видимом диапазоне излучения, длина волны нормируется нанометрами, что позволяет



2

Принципиальная оптическая схема интерферометра

выполнять пространственные измерения с высокой точностью (рис 2).

Высокотехнологичные решения компании Polytec на сегодняшний день являются «золотым стандартом» в области бесконтактных методов измерения для быстрого и качественного решения задач: от прикладных исследований до автомати-

зированного процесса контроля. Среди известных производителей оптических профилометров Polytec единственный в мире использует в своей продукции технологию телецентрической оптики и хроматического зондирования. Преимущество мультисенсорной системы состоит в большом вертикальном диапазоне сканирования в 70 мм с разрешением менее 0,56 нм и большим полем обзора $45 \times 34 \text{ мм}^2$ за одно измерение. Ни один серийно производящийся в мире двулучевой интерферометр не имеет таких характеристик. Если в качестве опции установить дополнительный стол размером $200 \times 200 \text{ мм}^2$, можно контролировать образцы большей площади или же размещать на нем сразу несколько образцов без какой-либо дополнительной оснастки, так как все системы имеют функцию автоматического определения образцов.

Системы оснащены цифровыми камерами с высоким разрешением, что позволяет получить качественное представление об измеряемом объекте и не пропустить ни одной важной детали. Возможность сканирования по оси Z без изменения рабочего отрезка от выходного отверстия излучения до поверхности исследуемой области позволит избежать столкновения оптики с исследуемым образцом, что отличает их от систем, которые работают по принципу изменения фокусного расстояния. Также это позволит сократить расходы на дорогостоящий ремонт – средства самодиагностики дают возможность легко и быстро устранить неполадки.



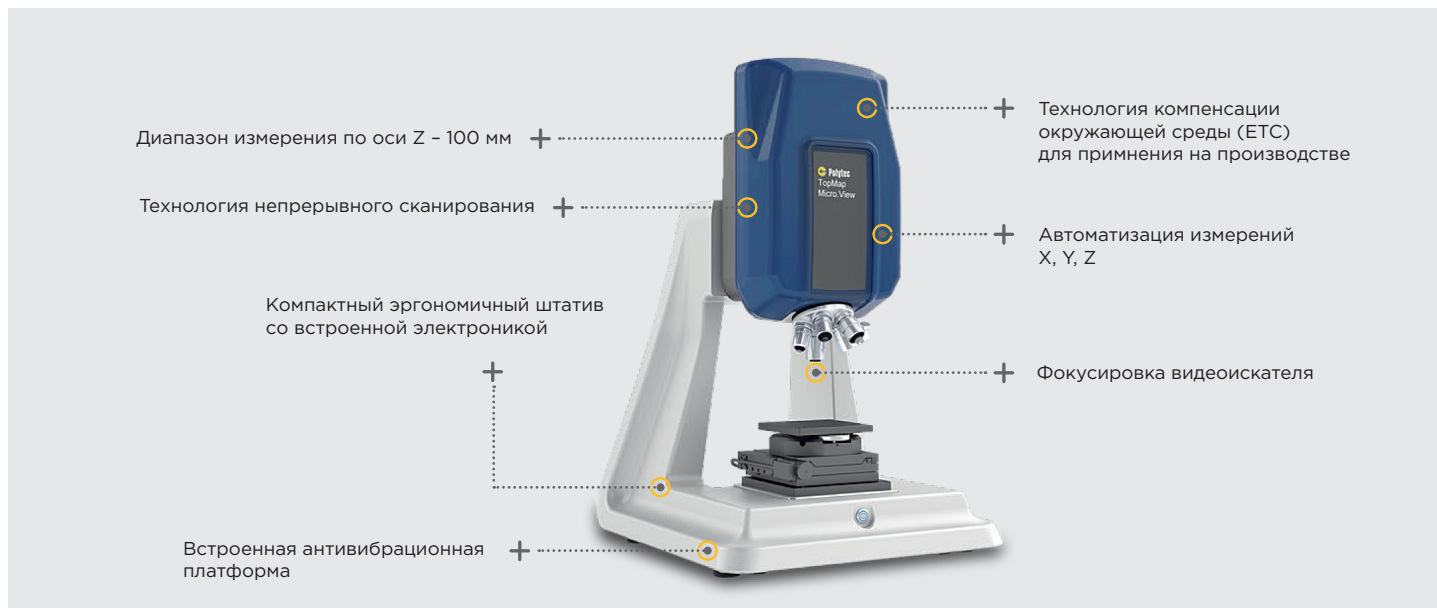
3

Оптический профилометр TMS-150



4

Оптический профилометр TMS-500R



5

Оптический профилометр TopMap Micro.View

На сегодняшний день модельный ряд оптических профилометров Polytec насчитывает более семи моделей и более 100 конфигураций. Рассмотрим некоторые из них.

Компактный оптический профилометр **TMS-150** (рис 3), это незаменимая «палочка-выручалочка» небольших опытно-конструкторских бюро с мелкосерийным производством и некоторых других предприятий. Несмотря на компактные габариты прибор имеет большое поле зрения 37 × 28 мм (с помощью моторизованного столика диапазон измерения

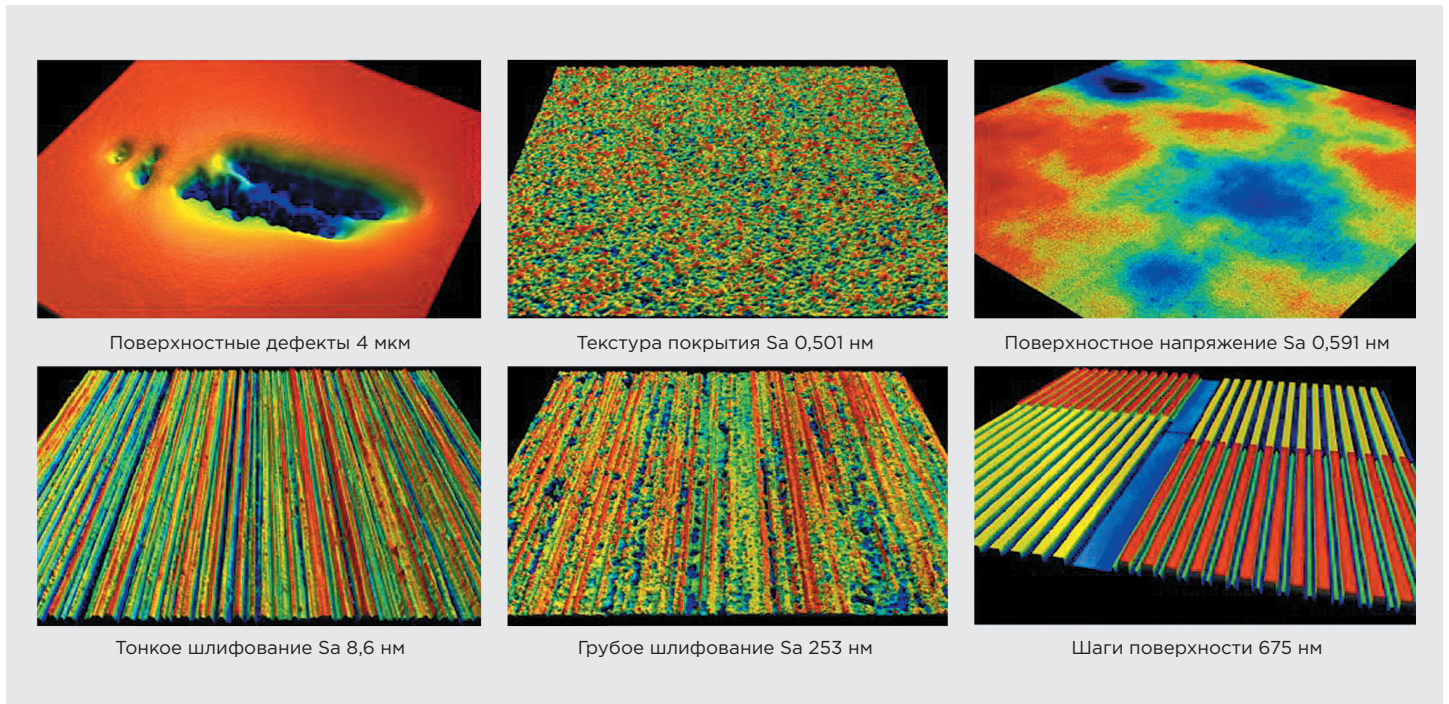
может быть увеличен до 87 × 78 мм), вертикальный диапазон сканирования 70 мм с разрешением 2,83 нм. Прибор также будет интересен специализированным или общеобразовательным учреждениям – дружелюбное программное обеспечение, которое используется для всей линейки приборов, сделает работу и обучение намного удобнее и интереснее.

Оптические профилометры класса выше из серии **TMS-350** и **TMS-500** (рис 4) идеально впишутся в производственную линию для контроля топогра-



6

Оптический профилометр TopMap Micro.View+



7

Примеры проведения измерения и исследования полупроводниковой пластины

фии поверхности большого объема выпускаемой продукции. Их применение позволяет сэкономить время проведения измерений и получить более точную информации об измеряемой детали. Оптические профилометры Polytec являются идеальным контрольным инструментом, а в сочетании с мощным программным обеспечением позволяют контролировать такие параметры, как параллельность, форма, трибология, шероховатость, высота ступенек в нанометровом разрешении с высокой воспроизводимостью и повторяемостью. Системы также широко используются в авиакосмической, оптической промышленности, ультрапрецизионном машиностроении, медицине.

В июле 2020 года компания Polytec представила оптические профилометры нового поколения. Линейка приборов отражена в двух форм-факторах:

- **TopMap Micro.View** (рис 5) – компактный настольный оптический профилометр с исключительной производительностью и мощным метрологическим программным обеспечением.
- **TopMap Micro.View+** (рис 6) – универсальная рабочая станция, которая имеет не только высокую производительность и мощное метрологическое программное обеспечение, но и обладает модульной конструкцией, что позволяет создавать специфические конфигурации в зависимости от поставленных задач.

Оптические профилометры серии Micro.View обеспечивают наиболее эффективные бесконтактные

трехмерные измерения поверхности микроскопических структур в нанометровом разрешении в лабораторных условиях и даже в шумных производственных цехах благодаря технологии ЕТС (технология компенсации окружающей среды). Эти метрологические системы дают высочайшее вертикальное разрешение, включают полную автоматизацию управления системами, антивибрационные решения, специализированные программные комплексы.

Профилометры серии Micro.View позволяют измерить не только рельеф, но и более точно охарактеризовать поверхность нано- и микроструктур. Такую возможность обеспечивает высококачественная и точная оптика, которая позволяет формировать изображения с высокой детализацией и характеристикой поверхности исследуемых объектов на микро- и нанометровом уровне, что особенно важно при производстве полупроводниковых компонентов. Высокое разрешение по оси Z не зависит от используемого объектива, а благодаря интегрированной технологии CST (технология непрерывного сканирования) вертикальный диапазон измерения был увеличен до 100 мм. Это дало большую свободу позиционирования и быструю настройку, сократив затраты на техническое обслуживание.

Функция «количественного картирования» применяется для качественной сшивки больших площадей исследуемых поверхностей, а также при разработке новых материалов. Карты адгезии или эластичности позволяют идентифицировать ком-


T 1

Таблица контролируемых и измеряемых параметров

ДВУМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ	ТРЕХМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:
<ul style="list-style-type: none"> Основные (без фильтрации): Pa, Pc, Pdc, Pdq, PHtp, Pku, Plo, Plq, Pp, Pq, Prms, Psk, PSm, Pt, Ptp, Pv, Py, Pz, Pz(JIS), P3z, Pfd, Pda, Pla, PH, PD, PS, Pvo. Волнистость (с фильтрацией): Wa, Wc, Wdc, Wdq, WHSC, WHtp, Wku, Wlo, Wlq, Wmr, Wp, Wpc, Wq, Wrms, Wsk, WSm, Wt, Wtm, Wtp, Wv, Wy, Wz, Wz(JIS), W3z, Wda, Wla, Wmax, WH, WD, WS, Wvo. Шероховатость (с фильтрацией): Ra, Rc, Rdc, Rdq, RHSC, RHtp, Rku, Rlo, Rlq, Rmr, Rp, Rpc, Rq, Rrms, Rsk, RSm, Rt, Rtm, Rtp, Rv, Ry, Rz, Rz(JIS), R3z, Rfd, Rda, Rla, Rmax, RH, RD, RS, Rvo. Прямолинейность (ISO 12780): STRt, STRp, STRv, STRq. 	<ul style="list-style-type: none"> Амплитуда: Sa, Sq, Sp, Sv, St, Ssk, Sku, Sz. Площадь и объем: Stp, SHtp, Smmr, Smvr, Smr, Sdc. Функциональные: Sk, Spk, Svk, Sr1, Sr2, Sbi, Sci, Svi, Sm, Vv, Vm, Vmp, Vmc, Vvc, Vvv. Ровность: FLt, FLtp, FLTs, FLTq, FLTv. Гибридные и пространственные: Sdq, Ssc, Sdr Spc, Sds, Str, Sal, Std, Sfd.
<p>АНАЛИЗ ДАННЫХ: высота ступеньки, расстояние по горизонтали, угол наклона, размер угла, количество вершин, интерактивная кривая Эббота-Файрстоуна, объем островов, автокорреляция, фрактальный анализ, анализ рисунка, анализ частоты, исправление данных.</p>	
<p>ФИЛЬТРЫ: гаусса, сплайн, импульсный и морфологический.</p>	

поненты композитов и анализировать взаимодействия между ними. Поскольку компоненты становятся все более мелкими, свойства взаимодействия приобретают большую важность для макроскопических свойств материала. При разработке тонких пленок картирование может давать информацию об однородности покрытия.

Также оптические профилометры Polytec позволяют измерять прозрачные пленки толщиной менее 1 микрона, используемые в гелиотехнике, оптической фильтрации, в полупроводниковом производстве. Технология Smart Scan (технология ин-

теллектуального сканирования) дает возможность работать на поверхностях с различной отражающей способностью, обеспечивая измерения на шероховатых, полированных и суперполированных поверхностях таких материалов, как стекло, керамика и металл и т.д. Благодаря дружественному интерфейсу программного обеспечения полностью автоматизирован процесс измерений и исключен человеческий фактор. Интегрируемые инструменты позволяют работать с 2D-, 3D-моделями в соответствии с российскими и международными стандартами (рис 7). 

Вся линейка оптических профилометров Polytec внесена в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации. Сервисную и методическую поддержку оборудования Polytec осуществляют сертифицированные российские инженеры и методисты ООО «Остек-АртТул». Приборы могут использовать в своей работе ученые, студенты, разработчики и специалисты по контролю качества продукции. Широкие возможности применения оптических профилометров Polytec решают проблемы измерений, с которыми не могут справиться другие приборы. Также при своем исключительном диапазоне, разрешении и простоте использования системы идеально подходят для исследований, разработок, контроля качества в различных отраслях промышленности: машиностроении, энергетике, микроэлектронике, оптике, прецизионном машиностроении, биологии и медицине.