

КАЧЕСТВО

Гибридные системы визуального контроля

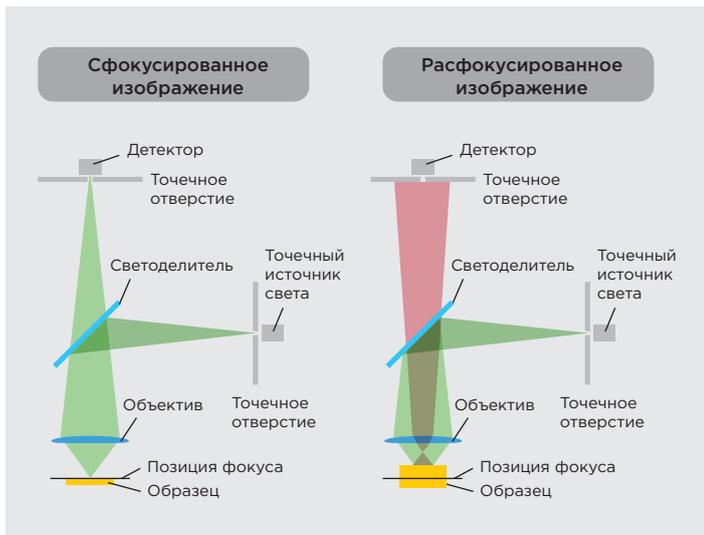
для полупроводникового производства



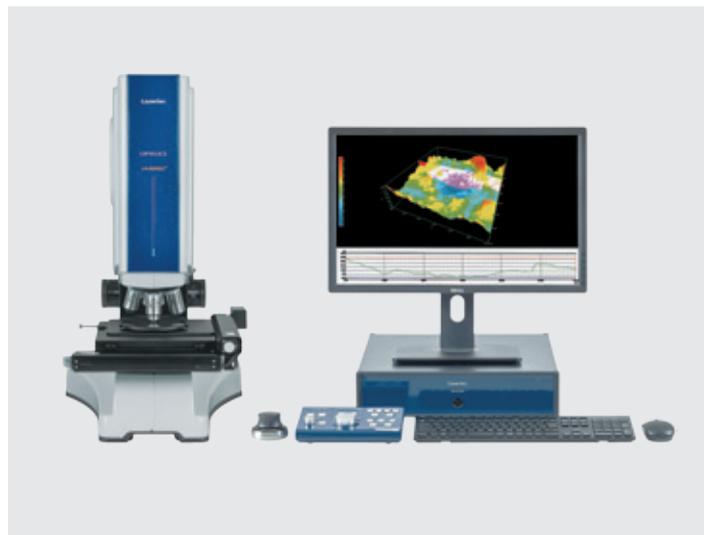
Текст: Сергей Максимов



Полупроводниковая промышленность – это компании, занятые в проектировании и производстве полупроводниковых приборов. Отрасль сформировалась около 1960 года после того, как производство полупроводниковых приборов стало рентабельным бизнесом. Само по себе полупроводниковое производство – это весьма трудоёмкий процесс с этапами травления, зачистки, диффузии, ионной имплантации, осаждения и химико-механической планаризации. Для повышения качества продукции на каждом этапе предусмотрен строгий контроль выпускаемой продукции. Как правило, основная нагрузка контроля в процессе изготовления изделия ложится на визуальную инспекцию. Поэтому в условиях повышенных требований к качеству недостаточно оснастить производство современным технологическим оборудованием и материалами – необходимо также выбрать наиболее совершенные методы технологического контроля.



1
Оптическая схема конфокальной микроскопии



1
Микроскоп Optelics+

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

В статье мы рассмотрим инновационные системы визуального контроля для полупроводникового производства. Вы спросите, что в них инновационного? Всё просто! Развитие технологий и инженерных мыслей позволило объединить различные оптические технологии и методы визуальной инспекции, представив миру гибридные приборы.

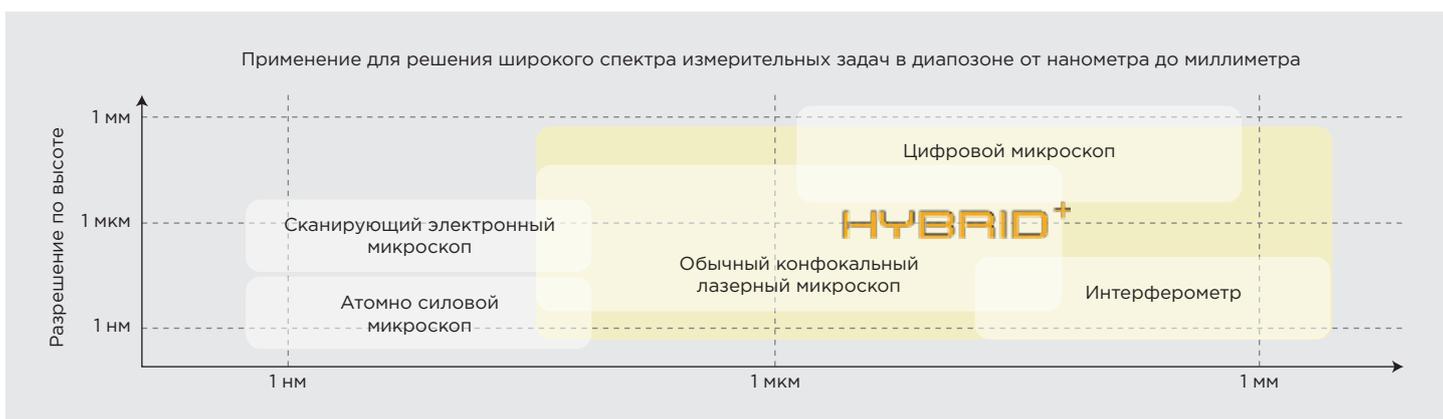
ООО «Остек-АртГул» представило российскому рынку гибридную систему визуального контроля, разработанную японской компанией Lasertec Inc.

В основе работы системы лежит лазерная конфокальная микроскопия, конфокальная микроскопия белого света. Основной принцип работы конфокального микроскопа представлен на оптической схеме (рис 1).

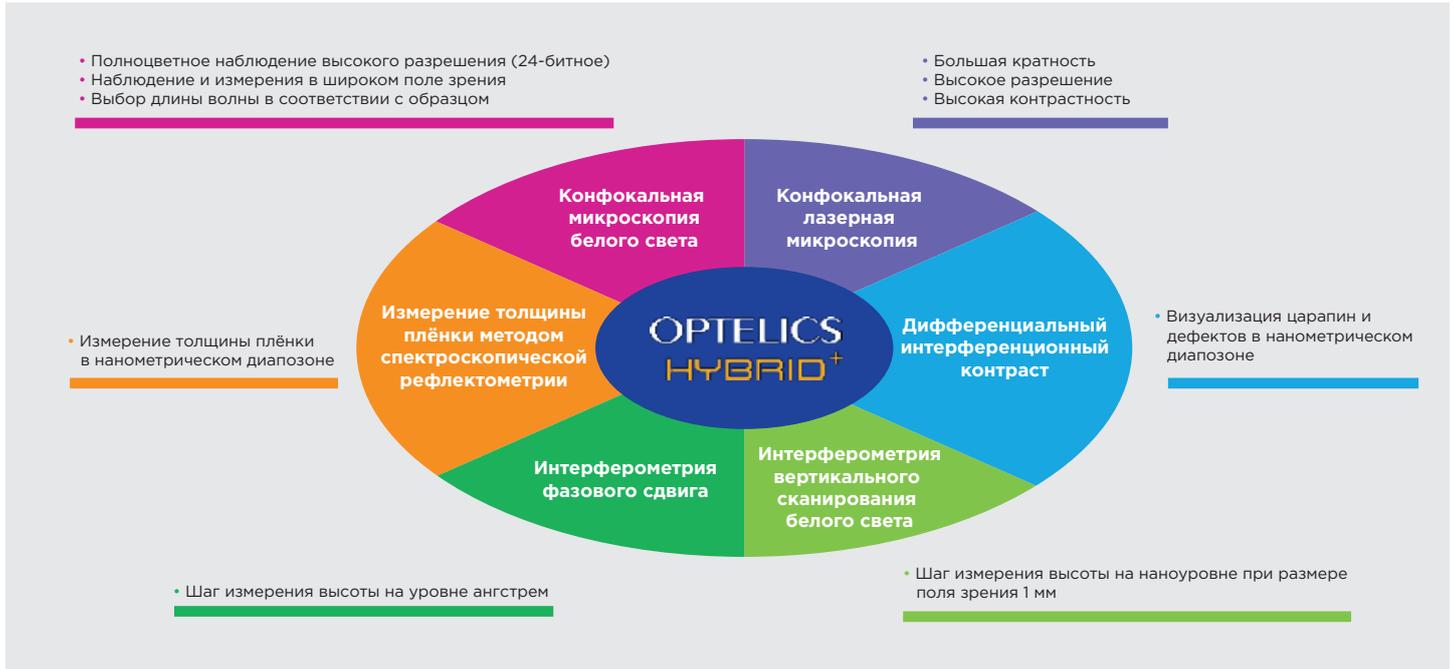
Конфокальная микроскопия – разновидность световой оптической микроскопии, обладающей значительным контрастом и пространственным разрешением по сравнению с классической микроскопией, что достигается использованием диафрагмы, размещённой в плоскости изображения и ограничивающей поток фонового рассеянного света, излучаемого не из фокальной плоскости объектива. Это позволяет получить серии изображений на различных глубинах фокальной плоскости внутри образца и затем реконструировать трехмерное изображение образца из этих серий. Конфокальная микроскопия получила широкое применение в области биологии, медицины, в материаловедении и физике полупроводников.

На рис 2 представлен общий вид микроскопа Optelics Hybrid+ от компании Lasertec.

Небольшое компактное устройство размером всего лишь 380 × 515 × 690 мм и весом 40 кг. Микроскоп совмещает в себе шесть измерительных приборов в диапазоне измерений от нанометра до миллиметра. Его функционал (рис 3 и 4) сравним со сканирующей



3
Сравнение Optelics с другими устройствами



4

Общие функциональные характеристики

электронной микроскопией, атомно-силовым микроскопом, цифровым микроскопом, спектроскопическим рефлектометром и интерферометром.

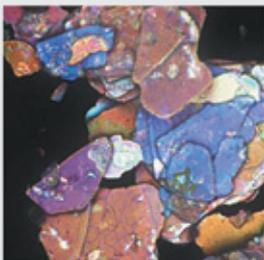
Optelics Hybrid+ уместает в себе шесть различных приборов, а это значит, что в нём реализованы шесть оптических технологий для визуального контроля.

Конфокальная микроскопия белого света – это идеальный инструмент для визуального контроля в видимом диапазоне. Для получения изображений высокого разрешения были разработаны специальные светосильные объективы с широким полем зрения. Помимо визуального контроля (рис 5), с помощью конфокальной микроскопии белого света можно проводить прецизи-

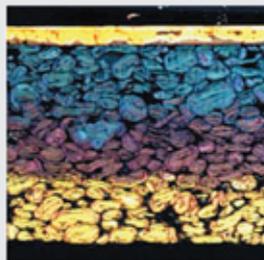
онные измерения в поле зрения объектива (рис 6). Если же объекты больше поле зрения, то систему можно оснастить координатным столиком 100×100 мм, который имеет разрешение энкодеров не более 1 нм в диапазоне перемещения 50×50 мм.

Как известно из курса физики, белый свет – это электромагнитное излучение видимого диапазона, которое вызывает у наблюдателя с нормальным цветовым зрением световое ощущение. Белый свет имеет минимум три монохроматических излучения, наглядно это можно увидеть на обложке музыкальной группы PINK FLOYD (рис 7), где белый свет, проходя через призму, раскладывается на спектр – на монохроматические одноцветные излучения.

Полноцветное и полностью сфокусированное конфокальное изображение высокого разрешения, полученное при помощи белого света, со спектром, сходным со спектром солнечного света



Пигмент

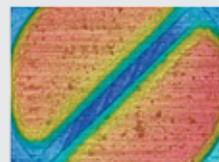


Изображение сечения литий-ионной батареи во время заряда и разряда

5

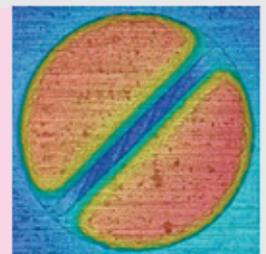
Полноцветное изображение

Стандартное поле зрения КЛМ (объектив с увеличением 20x)



Контактная клемма

Поле зрения HYBRID+ (объектив с увеличением 20x)



Поле зрения в 1,5 раза больше

6

Пример изображения

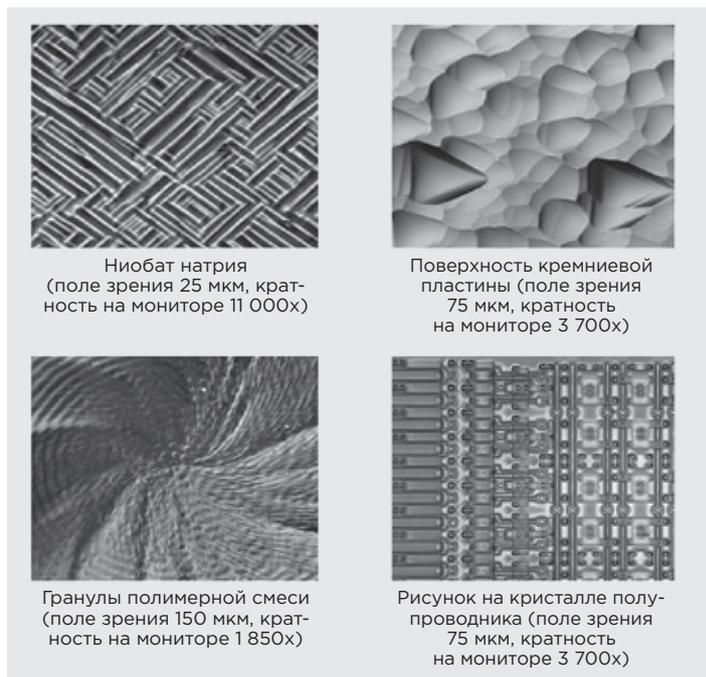


7
Обложка альбома PINK FLOYD

В Ortelics Hybrid+ также реализована **функция разложения света**, что позволяет изменять длину волны в диапазоне от 436 до 633 нм как в источнике излучения, так и в приемнике излучения, благодаря чему можно получить контрастное монохромное изображение. Изменение длины волны света в автоматическом режиме дает возможность получать изображения с высоким контрастом, что также повышает точность измерения при наведении на края объекта. Детектор, или как принято называть – приёмник излучения, позволяет обрабатывать 24-битные изображения, выделяя на каждый канал по 8 бит, и среди конкурирующих продуктов не имеет аналогов, так как в 99 % таких систем применяются классические ПЗС-матрицы. Такая обработка изображений дает колоссальную глубину цвета, тем самым подтверждая идеальность этого инструмента для визуального контроля и измерений.

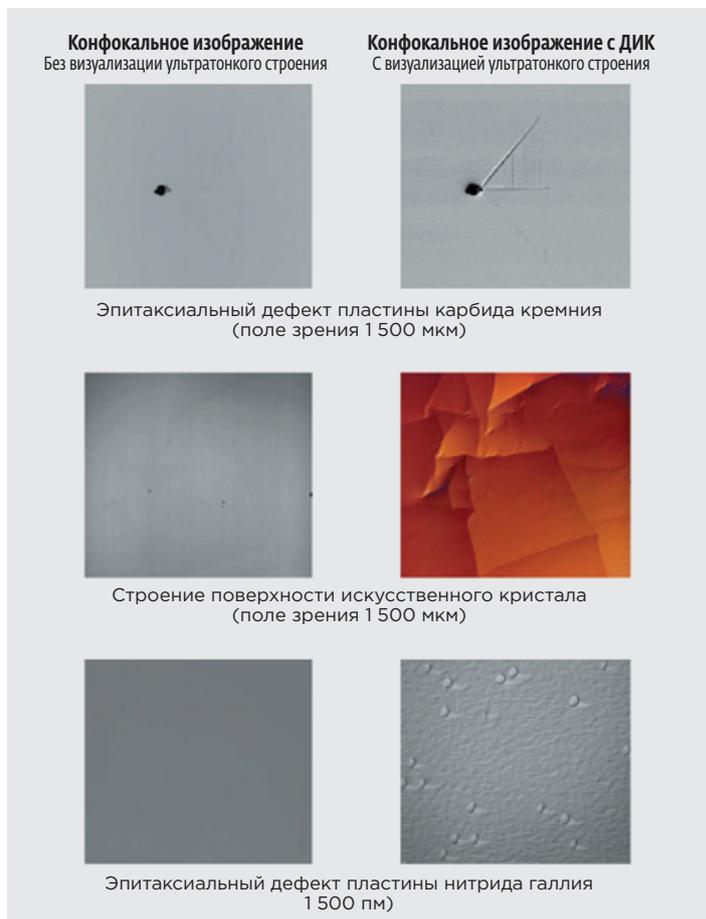
Лазерная конфокальная микроскопия благодаря когерентному источнику излучения позволяет получать изображения с высоким разрешением, соизмеримым со сканирующей электронной микроскопией. И если сканирующая электронная микроскопия работает в вакуумной системе, то лазерная конфокальная микроскопия не требует таких условий, позволяя максимально сократить время на проведение исследований. А использование специально разработанных объективов для формирования лазерного излучения дает возможность получить увеличение до 5 550 крат с пространственным разрешением 0,001 микрон (рис 8).

Дифференциально интерференционный контраст (ДИК) совместно с конфокальной микроскопией позволяет проводить исследование ультраструктурой

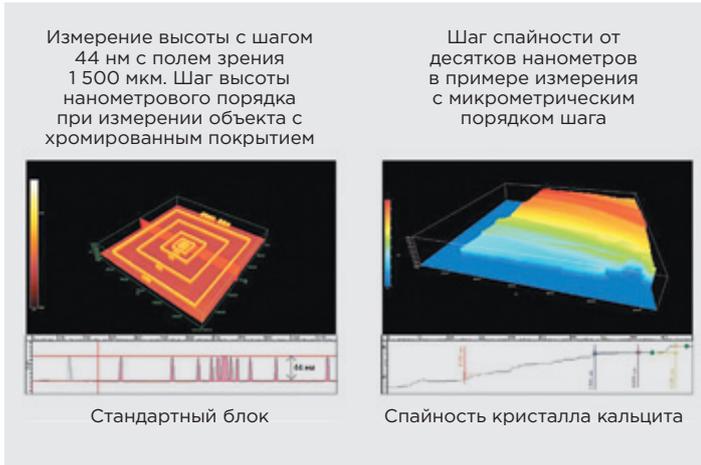


8
Изображения КЛМ

морфологии без каких-либо засветок и бликов даже на прозрачных образцах (рис 9).



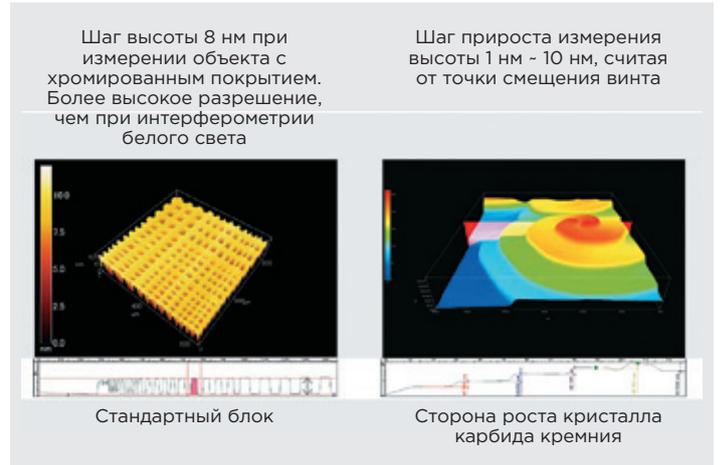
9
Пример изображений, полученных с ДИК



1 0

Пример изображения интерферометрии белого света

Интерференция белого света с вертикальным сканированием – технология измерения высот, ступеней, шероховатость поверхности, определения формы объекта бесконтактным методом. Позволяет получать значения измерений на уровне ангстрем и нанометров. Измерения нанометровых размеров (рис 1 0) рассчитываются путем получения значений шкалы по оси Z в положениях пиков интенсивности интерференционных полос, создаваемых белым светом и двухлучевым интерференционным объективом. Разрешение по оси Z – 0,05 нанометров. Ввиду развития полупроводниковых производств и технологий, измерений в нанометровом диапазоне порой бывает недостаточно, и в этом случае разработчик предусмотрел возможность измерения на уровне ангстрем! Если ранее мы говорили, что значения по оси Z обеспечивались разрешением шкалы, то в этом случае – фазовым сдвигом интерференционных полос, то есть половины длины волны света источника излучения (рис 1 1).



1 1

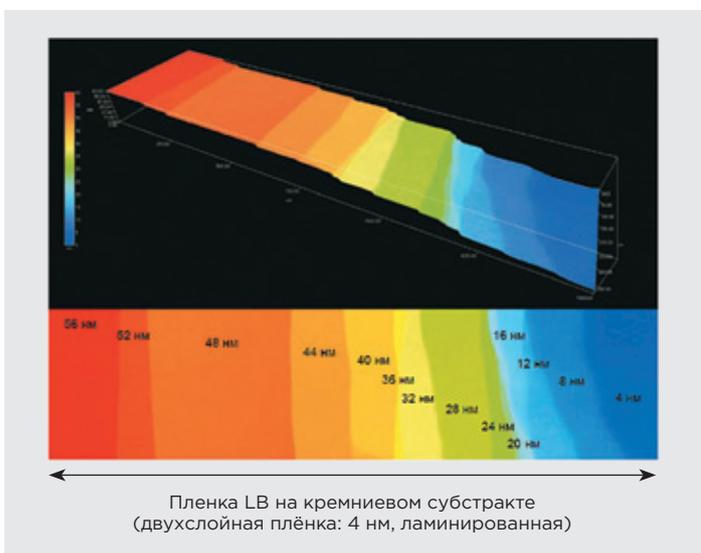
Пример изображения полученные интерферометрией фазового сдвига

Спектроскопическая рефлектометрия – технология измерения наноразмерных толщин прозрачных плёнок. Метод измерения основан на множественном отражении света между поверхностями плёнки и подложки. Применяется для измерения оксидированных плёнок, многослойных плёнок с различными структурами (рис 1 2).

Функциональные преимущества

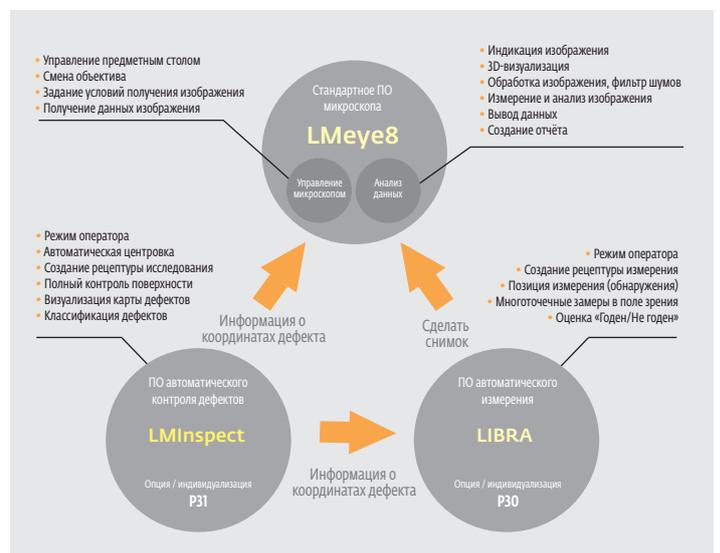
Помимо широкого функционала измерений и большого набора объективов Optelics HYBRID+ имеет ряд функциональных преимуществ в аппаратной и программной частях: высокая скорость и точность измерения, автоматическая оптимизация параметров при старте работы и анализе, макросы, сшивка, плоскостные измерения.

Высокая точность и скорость измерений обеспечивается широким диапазоном обработки частоты кадров от 15 до 120 Гц. Это позволяет сократить время измерения в 4 раза в отличие от классических лазерных конфокальных микро-



1 2

Пример измерения тонких плёнок



1 3

Эко система ПО Optelics Hybrid+

T 1

Технические характеристики объективов Optelics Hybrid+

	ОБЪЕКТИВ	РАБОЧЕЕ РАССТОЯНИЕ (ММ)	ЧИСЛОВАЯ АПЕРТУРА (NA)
Специально разработанные объективы (с высокой числовой апертурой)	5x LT	10,0	0,25
	10x LT	1,60	0,50
	20x LT	0,80	0,75
	NEW20x LT	1,65	0,80
Парофокальные объективы 60 мм (расстояние от места установки объектива до поверхности образца в фокусе)			
Классические объективы	1x	3,8	0,03
	2.5x	6,50	0,075
	5x	23,50	0,15
	10x	17,50	0,30
	20x	4,50	0,45
	50x	1,00	0,80
	50x APO	2,00	0,80
	100x	1,00	0,90
	100x APO	2,00	0,90
	150x APO	1,50	0,90
Объективы с увеличенным рабочим расстоянием	20x ELWD	19,00	0,40
	50x ELWD	11,00	0,60
	100x ELWD	4,50	0,80
Объективы с большим рабочим расстоянием	10x SLWD	37,00	0,20
	20x SLWD	30,00	0,30
	50x SLWD	22,00	0,40
	100x SLWD	10,00	0,60
Парофокальные объективы 45 мм (расстояние от места установки объектива до поверхности образца в фокусе)			
Объективы (с высокой числовой апертурой)	50x APO	0,35	0,95
	100x APO	0,32	0,95
	150x APO	0,30	0,95
Двухлучевые интерференционные объективы	TI 2.5x	10,30	0,075
	TI 5x	9,30	0,13
	DI 10x	7,40	0,30
	DI 20x	4,70	0,40
	DI 50x	3,40	0,55
	DI 100x	2,00	0,70

Т 2

Технические характеристики Optelics Hybrid+

ИСТОЧНИК СВЕТА	КСЕНОН/ДИОД			
	ЛАЗЕР 405 НМ			
Поле зрения/ увеличение	Источник света	Объектив	Увеличение	Поле зрения
	Белый свет	1x	18,5 x	15000x15000
		2.5x	46,2 x	6000x6000
		5x	92,5 x	3000x3000
		10x	185 x	1500x1500
		20x	370 x	750x750
		50x	925 x	300x300
		100x	1850 x	150x150
		150x	2775 x	100x100
	Лазер	50x	1850 x	150x150
100x		3700 x	75x75	
150x		5550 x	50x50	
ZOOM	1x – 8x			
Метрологические характеристики (XY)	Минимальная единица измерений	0,001 мкм		
	Точность	$\pm[0.02 \times (100/\text{увеличение объектива}) + L/1000]$ мкм		
	Повторяемость (3 σ)	10 нм		
Метрологические характеристики (Z)	Разрешение	0,05 нм		
	Точность	$\pm(0.11 + L/100)$ μm		
	Повторяемость (σ)	10 нм		
	Диапазон измерения	7 мм		
Диапазон перемещения по Z	80 мм			
Смена объективов	Моторизованная 5-позиционная турель			
Диапазон перемещения по XY	Ручной/моторизованный 100 x 100 мм, 50 мм перемещение			
Функции	ДИК			
	Интерферометр белого света с вертикальным сканированием			
	Интерферометр фазового сдвига			
	Спектроскопический рефлектометр			
ПО	Захват изображения	HDR mode, Patchwork, multi-gain,		
	Обработка изображений	Коррекция формы поверхности (наклон, сферическая), устранение шума, фильтр, выделение цвета, бинариза- ция		
	Анализ профиля	Измерение профиля, измерение сравнения, измере- ние шероховатости поверхности, измерение ширины и шага, измерение толщины пленки		
	Вывод данных	Специальное расширение, файл изображения общего назначения, файл CSV		



скопов. Функция эффективна при сшивке изображений и наблюдении динамических исследований. HYBRID+ обеспечивает наилучшие показатели точности и воспроизводимости среди других производителей конфокальных лазерных микроскопов как при измерении в горизонтальных осях, так и при измерении высоты. При этом все метрологические параметры откалиброваны согласно стандартам NIST (Национальный институт стандартизации и технологий).

В части программного обеспечения Optelics HYBRID+ производитель разработал уникальную «экосистему», максимально автоматизировав все процессы, значительно упростило работу на столь сложном по функционалу приборе (рис 1 3).

В стандартном исполнении Optelics HYBRID+ является отличным решением для проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы. Но при контроле на массовом производстве производитель предлагает унифицированные системы со специальными столами портального типа (рис 1 4).

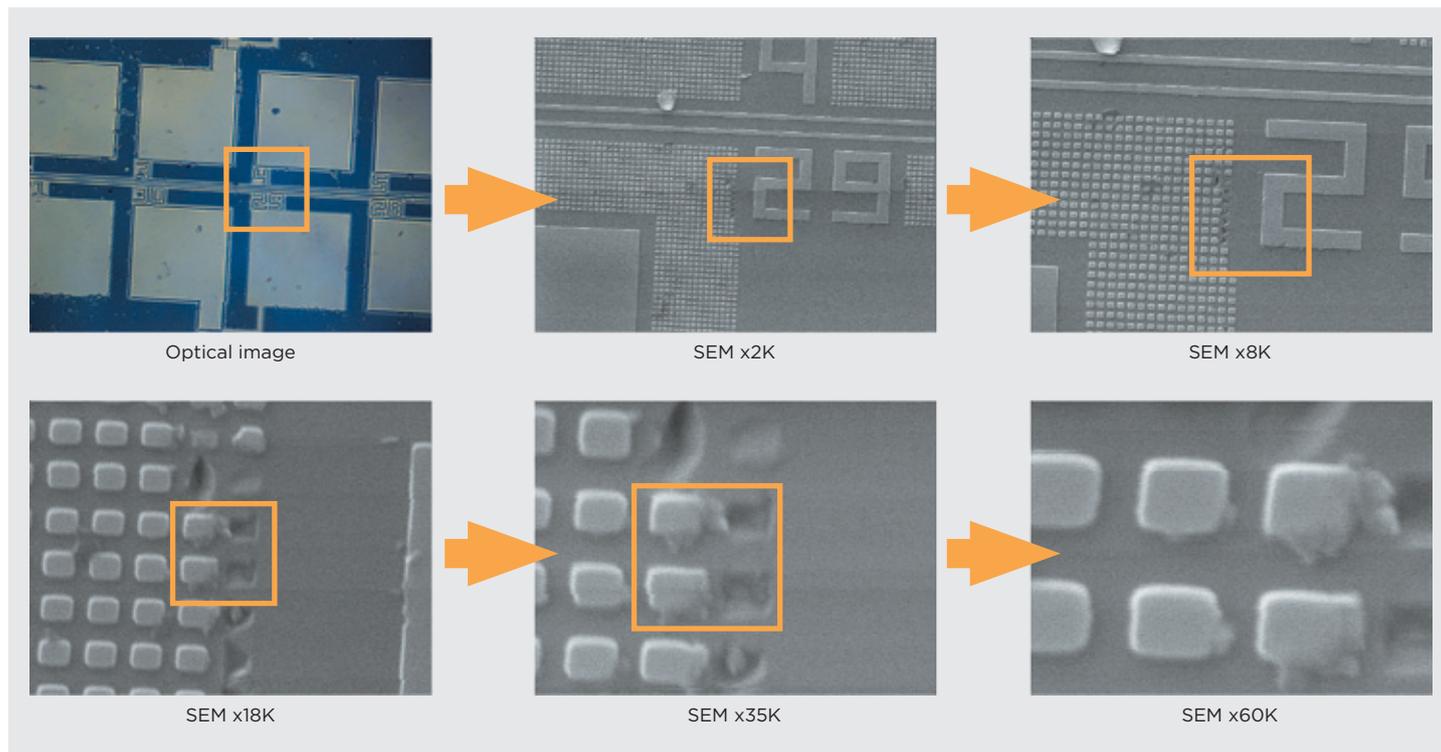
Optelics HYBRID+ от Lasertec Inc. на мой взгляд очень интересное оборудование и на российском рынке будет весьма востребованным продуктом. А так как данная статья посвящена гибридным системам, в продуктовой линей-

ке представлена еще одна уникальная установка, которая уместила в себе одновременно световую и электронную микроскопию.

Сканирующий электронно-световой микроскоп NanoFlash

NanoFlash – это совершенно новый и по своим характеристикам уникальный микроскоп, который сочетает в себе световую и электронную микроскопию. Систему производит молодая и перспективная южнокорейская компания ModuleSci. «Остек-АртТул», заручившись рекомендациями компаний, составляющих южно-корейский конгломерат: «MTDI Inc.» – производитель оборудования для подготовки образцов для материалаграфии и металлографии, «Soxem Inc.» – производитель портативных сканирующих электронных микроскопов, «ISP CO XRF Inc.» – производитель рентген-флуоресцентных анализаторов-толщиномеров, подписал контракт на эксклюзивные права по организации поставок и технического сопровождения на всем протяжении эксплуатации корреляционных микроскопов. Такой вид сотрудничества позволяет ООО «Остек-АртТул» быть лидером в области поставок систем визуального контроля и аналитического оборудования.





1 6

Изображение, полученное с NanoFlash

Все гениальное просто! Именно так можно сказать о гибридной системе NanoFlash от ModuleSci, рассмотрев оптическую систему устройства на рис 1 5. В одном корпусе совмещены световой и электронный микроскопы, при этом оборудование в применении не уступает по техническим характеристикам каждой отдельной единице.

Т 3

Технические характеристики NanoFlash

Габариты (Ш x Г x В)м	850 x 900 x 1500 мм
Источник электронов	Вольфрамовая нить, CeB6, LaB6, FE
Разрешение	FE (1,5 нм) вольфрамовая нить (4 нм), CeB6 (2,5 нм), LaB6 (2,5 нм), оптика (700 нм)
Увеличение	x20 - x 300 000
Ускоряющее напряжение	0,5 - 30 кВ
Размер камеры	40 x 40 x 45 мм
Размер образцов	Ø30 мм, высота 10 мм
Диапазон перемещения	XY: ±40 мм, Z: 5-50 мм, T: -20°-60°, R: 360°
Детекторы	BSE, EDS

NanoFlash может одновременно работать в режиме световой и электронной микроскопии, также систему можно оснастить спектральным оборудованием для проведения химометрического анализа. При работе в режиме сканирующей электронной микроскопии пространственное разрешение составляет не более 3 нм, а в режиме световой микроскопии – не более 700 нм (рис 1 6).

Гибридные системы, представленные в статье, действительно инновационные, ведь раньше под каждый метод исследования нужно было использовать отдельные приборы применять соответствующую технологию, а теперь различные методы контроля совмещены в одном приборе. Это несомненный плюс, который позволит сократить время межоперационного контроля и получить больше информации об исследуемом объекте. Данные системы применимы не только в производстве полупроводников, но также в исследовательской работе других отраслей: прецизионное машиностроение, биология и медицина, и многие другие. За гибридными системами – будущее!