

# Расширяя границы существующих систем безмасковой литографии: технология MLE™

Д. Суханов<sup>1</sup>

УДК 621.382 | ВАК 05.27.06

Новые требования к производительности и гибкости электронных устройств ставят задачу перехода от традиционной контактной фотолитографии с использованием масок-фотошаблонов к цифровой литографии – безмасковой, которая особенно необходима для реализации гетерогенной интеграции и современных технологий корпусирования (advanced packaging). Системы на кристалле (СнК) сегодня переходят от решений, использующих монолитные интегральные схемы (МИС), к модульным системам в упаковке, микрочипам (или чиплетам – chiplets) и функциональным блокам. Соответственно, растет спрос на масштабируемую и адаптивную фотолитографию, которая была бы эффективна для создания подобных структур. Свое решение для реализации такой фотолитографии предложила фирма EV Group\*.

**К**омпания EV Group разработала новую технологию безмаскового экспонирования MLE™ (Maskless Exposure). Технология позволит удовлетворить современные требования к гибкости проектирования новых изделий и сокращению циклов разработки, ее можно будет использовать в крупносерийном производстве микроэлектроники. MLE™ должна устранить все трудности и сократить затраты, связанные с использованием маски – фотошаблона, ликвидировать разрыв между универсальным (но медленным) оборудованием, используемым для разработки, и быстрым (но не гибким) производством. MLE™ предоставит решение, которое может быть масштабируемым и одновременно позволит проектировать на уровне кристалла и пластины, поддерживая как традиционные, так и новые материалы, а также обеспечит высокую скорость адаптации и высокую надежность с многоуровневым резервированием для повышения доходности и снижения стоимости владения.

Новая технология отвечает всем критическим требованиям процессов фотолитографии не только для современных технологий корпусирования, но также для МЭМС-технологий, биомедицины и производства печатных плат.

## С КАКИМИ НОВЫМИ ПРОБЛЕМАМИ СТОЛКНЕТСЯ ЛИТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОРПУСИРОВАНИЯ И ГЕТЕРОГЕННОЙ ИНТЕГРАЦИИ?

По мере того, как гетерогенная интеграция становится растущей движущей силой в полупроводниковой промышленности, оказывая влияние на рынки современных технологий корпусирования, МЭМС и печатных плат, требования к процессам фотолитографии серьезно ужесточаются. Так, в современных технологиях корпусирования требования минимального разрешения для слоев перераспределения (redistribution layers, RDL) и межсоединений (interposers), с характерными для них масштабированием размеров и постоянным уплотнением структур линия / пробел (Line / Space), становятся все более строгими. В некоторых случаях они приближаются к двум микронам или превышают это значение. При этом изменение положения кристалла на подложке / пластине и использование экономически эффективных органических подложек требует все большей гибкости в формировании рисунка. Требования растут и к точности совмещения и наложения слоев, а также к глубине фокуса (глубине резкости) в вертикальных структурах с боковыми стенками.

Новые требования, такие как минимизация искажения рисунка, минимизация сдвига (смещения) кристалла из-за искривления пластины (если речь идет об упаковке на уровне пластины (Wafer-level packaging, WLP)),

<sup>1</sup> ООО «Остек-ЭК», главный специалист поддержки группы пресейл-инженеров Технического управления, micro@ostec-group.ru.

\* EV Group, Австрия (<https://www.evgroup.com>) – партнер ООО «Остек-ЭК» в области литографических процессов более 15 лет.

поддержка толстых и тонких фоторезистов – это лишь некоторые из критериев для существующих и будущих передовых систем литографии. В табл. 1 приведены основные требования к литографии для различных сфер микроэлектроники.

### НЕМНОГО ОБ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПАХ ЭКСПОНИРОВАНИЯ И КЛЮЧЕВЫХ АСПЕКТАХ БЕЗМАСКОВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Принципы различных видов экспонирования представлены в табл. 2. Ключевыми аспектами технологии экспонирования MLE™ являются:

- динамическое формирование рисунка на фоторезисте с полным разрешением и без сшивки;
- разрешение линия/пробел лучше, чем 2 мкм, в любом произвольном направлении;
- свобода дизайна и конфиденциальность данных благодаря созданию структур в цифровом виде;
- индивидуальные аннотации для каждого кристалла (серийные номера, ключи шифрования и т. д.);
- обнаружение и адаптивная компенсация изменения геометрии пластины;
- деформация основания не оказывает влияния на процесс (возможность использовать толстые пластины, стекло или органические материалы);

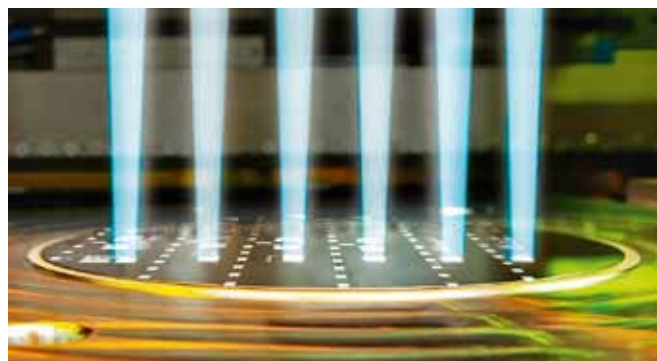


Рис. 1. Технология EVG MLE™.

Источник: <https://www.evgroup.com>

- интеллектуальная и гибкая инфраструктура для цифровой литографии;
- технология, не использующая расходные материалы.

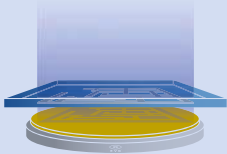
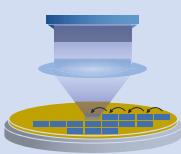
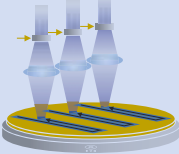
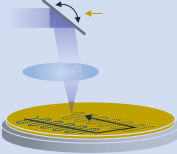
### НЕМНОГО О ПРОБЛЕМАХ И ТРУДНОСТЯХ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ЛИТОГРАФИЧЕСКОМ ПУТИ

Основным элементом каждого процесса литографии является модуль экспонирования, который определяет основные характеристики и производительность той или иной литографической технологии. В настоящее время на рынке существует несколько распространенных

Таблица 1. Основные требования к литографии для различных сфер микроэлектроники

Современные технологии корпусирования	МЭМС	Биомедицина	Печатные платы с высокой плотностью рисунка
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Формирование рисунка в RDL для интерпозеров большого размера и WLP;</li> <li>• отсутствие ограничений по размеру шаблона;</li> <li>• изменяемая структура с компенсацией искажения пластины и сдвига кристалла;</li> <li>• высокая пропускная способность при низкой стоимости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Широкая номенклатура продукции и высокая стоимость фотшаблона – необходимость литографии без маски;</li> <li>• 3D-структурирование фоторезиста для многошаговых процессов и процессов с различными углами наклона;</li> <li>• высокая глубина фокуса для нанесения рисунка в углублениях</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Крупногабаритные устройства;</li> <li>• структуры с размерами в диапазоне от мкм до мм;</li> <li>• низкая стоимость владения;</li> <li>• возможность формирования рисунка для широкого ассортимента продукции;</li> <li>• масштабируемость для различных размеров подложек и биосовместимых материалов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение разрешения линия/пробел на печатной плате, необходимого для встраивания кристалла и распределения высокой плотности;</li> <li>• корректировка коробления пластины и размещения кристалла;</li> <li>• изменяемый рисунок для панелей разных размеров</li> </ul>

Таблица 2. Методы экспонирования

Параметр	Система совмещения и экспонирования с зазором	Степпер – проекционная литография	Безмасковое экспонирование MLE™	Прямое лазерное экспонирование
				
Размер поля экспонирования	Все поле	Размер единичной структуры ограничен (до 50 × 25 мм)	Кластерная система пишущих голов	Одиночные лазерные точки
Длина волны экспонирования	Широкополосное (g, h, i-линии)	i-линия / широкополосное	Многоволновая оптика	Одна длина волны
Разрешение линия / пробел	>3 мкм	>1,5 мкм	<2 мкм	До 600 нм в зависимости от объектива и производительности

методов экспонирования. В случае совмещения фотошаблона и пластины рисунок экспонируется на подложку через фотошаблон (маску), которая находится в непосредственной близости от светочувствительной пластины с фоторезистивным покрытием. Минимальный размер структуры определяется зазором между маской и пластиной. Близость маски к поверхности фоторезиста позволяет получить меньшие структуры, однако при слишком близком контакте происходит загрязнение маски, что приводит к уменьшению выхода годных. Несмотря на то, что минимальное разрешение на серийном производстве ограничено несколькими микронами, технология совмещения фотошаблона с пластиной и последующего экспонирования обеспечивает решение для создания недорогих и высокопроизводительных систем, особенно когда требуются высокая доза облучения и работа с толстыми фоторезистами (более 100 мкм) или процессами WLP.

Для формирования рисунков меньшего размера без загрязнения маски используют степперы, в которых применяется проекционная оптика между маской и пластиной. Однако, экспонирование происходит последовательно или пошагово с сильным ускорением между экспонированиями, поскольку размер поля экспонирования ограничен возможностями оптики.

В системах совмещения и экспонирования, также как и при использовании степперов, к вышеупомянутым ограничениям добавляются еще и серьезные дополнительные затраты на фотошаблоны. Одно из решений, позволяющее исключить стоимость фотошаблона, – это технология прямого лазерного экспонирования

с применением одного или нескольких лазерных лучей, которые последовательно экспонируют небольшие геометрические элементы. Но наряду с преимуществами прямого экспонирования, последовательный характер воздействия приводит к значительным затратам и очень низкой производительности.

Технология MLE™ позволяет экспонировать одну или несколько широких полос в режиме параллельного сканирования и использовать пластины любого размера вплоть до больших панелей благодаря плотно интегрированной кластерной конфигурации пишущей головы. Технология поддерживает все имеющиеся в микроэлектронной промышленности фоторезисты, так как в ее основе лежит использование мощного ультрафиолетового источника с несколькими длинами волн. Производительность такой системы не зависит от сложности, разрешения получаемых структур и типа используемого фоторезиста. MLE™ дополняет линейку существующих литографических систем компании EV Group, ориентируясь на новые мировые тенденции и задачи, где другие подходы сталкиваются с различными ограничениями, сложностью масштабирования и высокой стоимостью владения.

### ЧТО ЖЕ ДАСТ ПЕРЕХОД НА НОВУЮ СХЕМУ ЛИТОГРАФИИ?

Ответ на этот вопрос прост – гибкость, масштабируемость и меньшую стоимость владения по сравнению с существующими методами литографии, используемыми в крупносерийном производстве.

Технология MLE™ расширяет границы существующих систем литографии, обеспечивает высокое разрешение



**Рис. 2.** Система EVG MLE™.

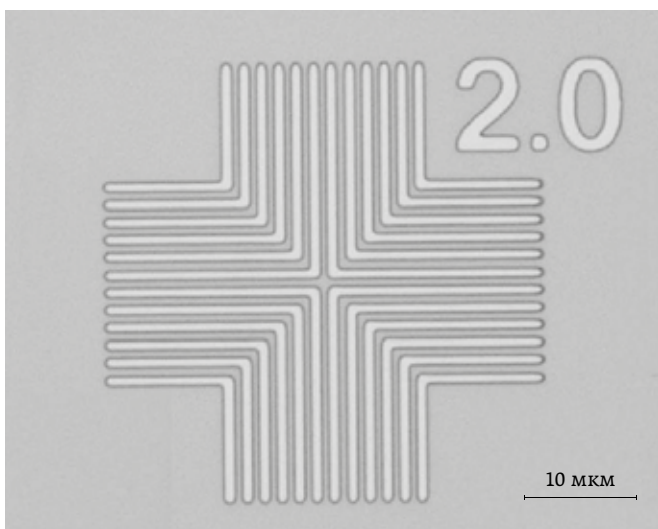
Источник: <https://www.evgroup.com>

линия/пробел (<2 мкм), экспонирование без сшивки всей поверхности подложки с высокой производительностью. Системы, реализующие MLE™, можно масштабировать в соответствии с потребностями пользователя, добавляя или удаляя пишущие головы, что обеспечивает быстрый переход от НИОКР к крупносерийному производству. Технология дает возможность оптимизировать производительность и обеспечивает превосходную адаптивность к различным размерам структур и материалам подложек, поэтому идеально подходит для работы с широчайшей номенклатурой подложек – от небольших полупроводниковых пластин из кремния или материалов группы A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> до панелей больших размеров. MLE™ обеспечивает одинаковую производительность формирования рисунка независимо от типа фоторезиста благодаря гибкому и масштабируемому мощному лазерному УФ-источнику с различными вариантами выбора длины

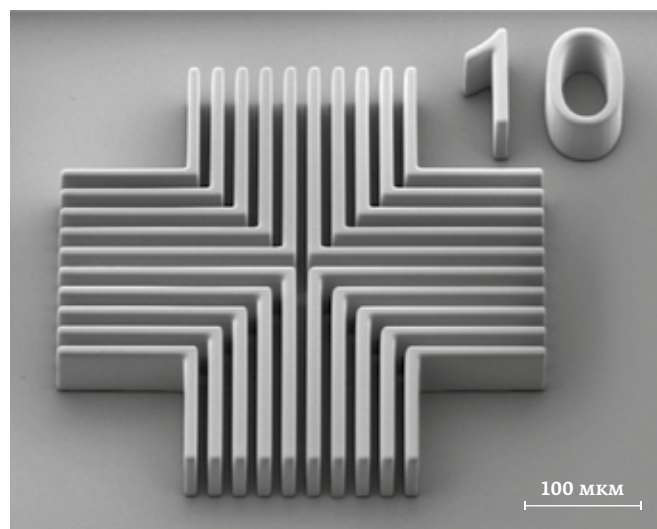
волны для экспонирования. Внешний вид системы EVG MLE™ показан на рис. 2.

Технология MLE™ устраняет проблемы постоянного увеличения стоимости фотомасок для различных конструкций чипов и поддержания их количества, необходимого для обеспечения непрерывного серийного производства, что составляет значительную часть общих затрат на разработку и производство. Снижение влияния варьирования рисунка (с точки зрения размеров подложки и разнообразия материалов) на время выхода на рынок также все более широко востребовано в литографии. Технология MLE™ – это масштабируемый подход, который дает возможность создавать структуры любой формы на любой подложке. Данная технология использует кластерные системы многоволновых лазерных источников света, работающих на длинах волн 375 и/или 405 нм, что позволяет формировать рисунок как на толстых, так и на тонких фоторезистах (включая позитивные и негативные, различные полиимиды, сухие пленочные резисты) и даже применять данную технологию в производстве печатных плат. Примеры получаемых структур показаны на рис. 3–5. Технология экспонирования MLE™ поддерживает высокое отношение высоты к ширине элементов рельефа, обычно характерное для процессов литографии в WLP, МЭМС, микрофлюидике и различных интегральных структурах полупроводниковой фотоники.

Помимо трудностей, связанных с применением фотомасок, современные технологии, основанные на их использовании, сталкиваются с проблемами, вызванными деформациями подложки, и поэтому имеют ограничения по применению. В отличие от них, технология



**Рис. 3.** MLE™ экспонирование в высоком разрешении, фоторезист – AZ MIR 701, позитивный тон. Источник: <https://www.evgroup.com>



**Рис. 4.** MLE™ экспонирование, толщина фоторезиста – 50 мкм, тип фоторезиста – JSR THB-151N, негативный тон. Источник: <https://www.evgroup.com>





**Рис. 5.** MLE™ экспонирование фоторезиста SU-8 толщиной 600 мкм. Источник: <https://www.evgroup.com>

MLE™ способна адаптироваться к высоким нагрузкам на подложку, ее изгибу и деформации благодаря встроенному динамическому выравниванию. Параллельно с этим технология MLE™ позволяет одновременно выполнять формирование рисунка на уровне пластины и отдельных кристаллов.

Кроме того, программируется уровень дозы УФ-излучения во время процесса формирования рисунка, поэтому можно обрабатывать структуры с различной толщиной фоторезиста. Эта исключительная особенность позволяет изготавливать сложные трехмерные многоуровневые схемы, применимые в будущих МЭМС, новых фотонных устройствах или микрооптических элементах (преломляющих, дифракционных). Получаемая структура может быть сохранена в многочисленных стандартных отраслевых форматах векторных файлов (например, GDSII, Gerber, OASIS, ODB++ или BMP). Векторный макет с любой заданной сложностью шаблона обрабатывается в течение нескольких секунд и сохраняется в растровом формате. В результате ни тип фоторезиста, ни уровень дозы облучения, ни какая-либо конкретная сложность конструкции не влияют на скорость процесса формирования рисунка.

## ЧТО ЖЕ НАС ЖДЕТ НА ПУТИ К НОВОЙ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ?

Цель новой технологии безмаскового экспонирования EVG MLE™ состоит не только в том, чтобы вывести на рынок новый инструмент для литографии, но и в том, чтобы укрепить тенденцию перехода к интеллектуальной и гибкой цифровой обработке в полупроводниковой промышленности, обеспечивая при этом уникальную масштабируемость

12 ноября 2019 года на международных выставках productronica 2019 и SEMICON Europa 2019 в Мюнхене, Германия, компания EV Group была признана ведущим поставщиком оборудования для бондинга пластин и процессов литографии для рынков MEMS, нанотехнологий и полупроводников, а также получила награду от Global SMT Packaging за лучший продукт в Европе

и революционную технологию безмаскового экспонирования MLE™.

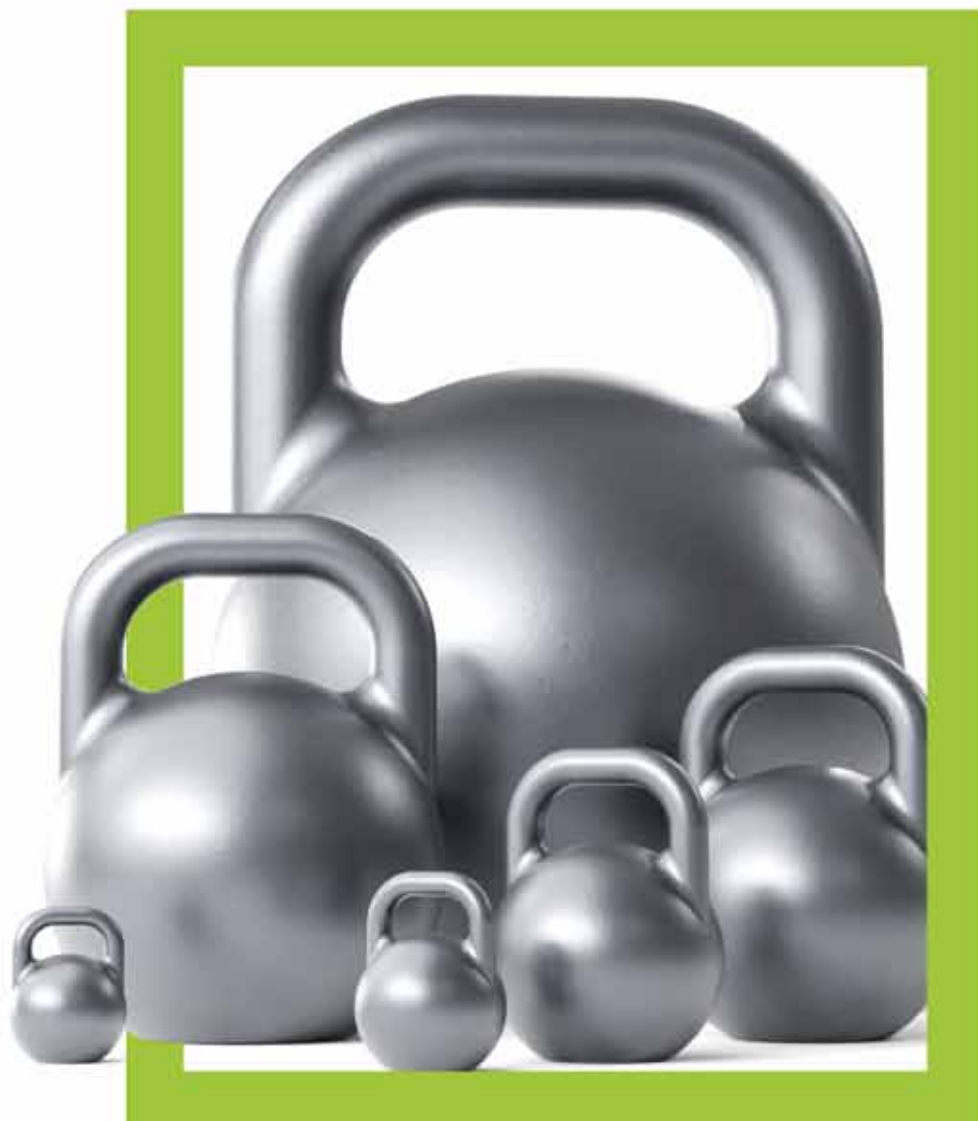
EV Group была удостоена этой чести среди избранных групп компаний на церемонии награждения, где были представлены самые последние инновационные продукты и технологии, которые были успешно внедрены в производство электроники за последние 12 месяцев.



Награждение EV Group. Источник: <https://www.evgroup.com>



# Нам по силам ВАШИ ВОЗМОЖНОСТИ ●●●



## Решения любого масштаба

Каждое предприятие имеет свои приоритетные цели, технологические задачи и уровень возможностей.

Опираясь на многолетний практический опыт и высокую квалификацию команды, мы тщательно прорабатываем каждую задачу и предлагаем действительно работающие решения под финансовые возможности и индивидуальные потребности производств.

Честно, открыто, профессионально.

[ostec-group.ru](http://ostec-group.ru) | [info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru) | +7 (495) 788-44-44

без использования фотошаблонов. Технология позволяет увеличить производительность и сократить расходы.

Применение этой современной технологии экспонирования также решает проблемы, обусловленные использованием новых материалов или гибких подложек, с которыми сталкиваются новые рынки. Практически неограниченная гибкость проектирования, привносимая технологией MLE™ в нынешнюю консервативную среду, открывает пространство для новых инноваций, помогает сократить циклы разработки и в то же время ликвидировать разрыв между НИОКР и крупносерийным производством, сделав одну и ту же технологию доступной для обеих областей.

На высококонкурентном мировом рынке полупроводниковой промышленности гибкость производства, масштабируемость, затраты на разработку и эксплуатацию являются чрезвычайно важными факторами для сокращения времени вывода продукта на рынок, что крайне важно для удержания и расширения доли рынка. Таким образом, новая цифровая инфраструктура технологии EVG MLE™ позволяет активно реализовывать инновационные решения, сохраняя при этом расходы на разумном уровне.

В статье использованы материалы с сайта компании EV Group (<https://www.evgroup.com>). ●

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 760 руб.

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп.

Кондрашин А. А., Лямин А. Н., Слепцов В. В.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2019. – 210 с.,  
ISBN 978-5-94836-504-6

С развитием высоких технологий становится реальным выпуск трехмерных электронных устройств (ТЭУ). Решением данной задачи являются еще только разрабатываемые гибридные технологии, названные в данной работе квази-4D-технологиями формирования ТЭУ. В то же время, создана классификация 4D-объектов (способных менять свою форму или структуру после их создания в зависимости от внешних условий, например при изменении температуры, при механическом воздействии и т.д.) ТЭУ и технологий для их формирования.

Данное учебное пособие является первой книгой по технологиям изготовления, сканирования и визуализации трехмерных электронных устройств. Во второй книге будут рассмотрены технологии сканирования трехмерных электронных устройств различных диапазонов, в том числе нанометрового диапазона. Отдельный раздел второй книги будет посвящен возможностям изготовления трехмерных электронных устройств нанометрового диапазона с применением методов сканирующей микроскопии. Третья книга будет посвящена технологиям визуализации (средствам отображения информации) для контроля параметров ТЭУ, создания новых ТЭУ и технологий реинжиниринга ТЭУ.

Учебное пособие может быть рекомендовано бакалаврам и магистрам высших учебных заведений.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)





Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности

a Hyve event

Ваш компонент успеха!

**11–13 августа 2020**

Москва  
МВЦ «Крокус Экспо»



**457**  
участников  
из 17 стран

**200+**  
единиц  
технологического  
оборудования



Получите Ваш  
бесплатный билет  
по промокоду **ee20print**

[expoelectronica.ru](http://expoelectronica.ru)

+7 (499) 750-08-28  
[electron@hyve.group](mailto:electron@hyve.group)

\* Совместно с выставкой

