

# Технологии внутреннего монтажа бескорпусных элементов и особенности проектирования микросистем со встроенными компонентами

## Часть 2

Д. Вертянов<sup>1</sup>, С. Евстафьев<sup>2</sup>, П. Виклунд<sup>3</sup>, В. Сидоренко<sup>4</sup>

УДК 658.512 | ВАК 05.13.12

Технология внутреннего монтажа бескорпусных элементов позволяет значительно повысить плотность компоновки модулей и микросборок, решить задачу миниатюризации сложно-функциональных устройств при ужесточении требований к массогабаритным параметрам. В первой части статьи, опубликованной в шестом номере журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес», был представлен обзор технологий и конструктивно-технологических решений для внутреннего монтажа бескорпусных элементов в структуру подложки корпусов микросхем и печатных плат. Во второй части рассматриваются особенности проектирования микросистем со встроенными кристаллами и пример реализации проекта модуля со встроенными элементами, выполненного с помощью САПР компании Mentor, A Siemens Business.

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОСИСТЕМ СО ВСТРОЕННЫМИ КРИСТАЛЛАМИ

Проектирование высокоинтегрированных микросистем, многокристальных модулей и микросборок со встроенными элементами/компонентами имеет ряд важных особенностей, связанных как с созданием конструкции и топологии будущего изделия, так и с передачей данных на производство. В настоящее время некоторые крупные компании, занимающиеся разработкой САПР электроники [1], предлагают специализированные инструменты, предназначенные для проектирования микросборок и корпусов типа WLP. Эти инструменты находятся на стыке между САПР печатных плат и САПР для проектирования интегральных схем. Подобного рода системы проектирования содержат библиотеки стандартных

компонентов (прежде всего кристаллов) от различных производителей, что вместе с набором правил проектирования формирует аналог PDK, используемого при разработке ИС. Такой подход полезен в случае контрактного производства или при использовании стандартного набора компонентов от известных разработчиков. Однако он неэффективен при работе со специализированными элементами/компонентами, например кристаллами ASIC, МЭМС, различными датчиками и компонентами, предназначенными для работы в жестких условиях эксплуатации, которые не используются в стандартных технологиях внутреннего монтажа и др. В приведенных случаях необходимые данные нужно получать извне и затем вводить в базу данных САПР вручную.

Проектирование микросистем и микросборок с использованием внутреннего монтажа имеет ряд особенностей по сравнению с проектированием стандартных многослойных печатных плат и интегральных схем. К числу таких особенностей можно отнести:

- возможность изменения типа и структуры контактных площадок, а также типа отверстий (laser или photo) для посадочных мест встраиваемых кристаллов [2];
- посадочные места встраиваемых кристаллов не являются частью внутренних коммутационных слоев,

<sup>1</sup> НИУ МИЭТ, руководитель УНЦ Института НМСТ, vdv.vertyanov@gmail.com.

<sup>2</sup> НИУ МИЭТ, доцент Института НМСТ, madcatse@gmail.com.

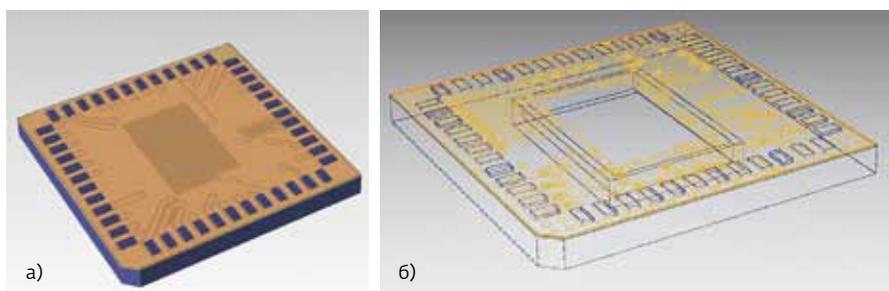
<sup>3</sup> Mentor, A Siemens Business, директор системных решений, Per\_Viklud@mentor.com.

<sup>4</sup> АО «ЗНТЦ», руководитель центра корпусирования и 3D-сборки микросхем, sidorenko@zntc.ru.

а представляют собой контакты самих элементов/компонентов;

- в местах под установку кристаллов по технологии внутреннего монтажа не должно быть никакой металлизации (технологический слой);
- в данные проекта необходимо включать дополнительные элементы и пользовательские слои для тестовых структур, реперных знаков и дополнительных элементов совмещения;
- особая структура слоев, где диэлектрик и металл чаще всего создаются последовательным наращиванием и отличаются по электрическим параметрам от используемых в производстве печатных плат препрега и ламинатов;
- использование специализированного типа компонентов с заглублением (buried) в материал микросистемы, микросборки или с установкой в подготовленные полости (cavities) (рис. 1);
- формирование межуровневых соединений до встроенных кристаллов производится с помощью глухих и скрытых микропереходов;
- необходимость учитывать трехмерную структуру микросистемы, особенно в случаях, когда над встроенными в подложку бескорпусными микросхемами монтируются компоненты по методу поверхностного монтажа;
- отсутствие контактных площадок для монтажа поверхностно-монтируемых компонентов позволяет увеличить плотность разводки (рис. 2);
- очень высокие требования к топологическим нормам и, как следствие, точности данных топологии (от десятков до долей мкм), что в ряде случаев требует передачи информации в формате GDS II для изготовления стеклянных фотошаблонов.

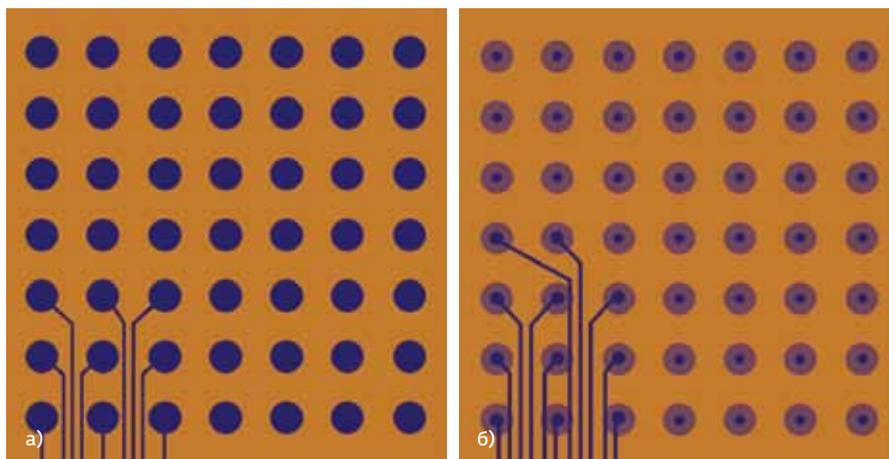
В зависимости от конкретного варианта технологии внутреннего монтажа перечень особенностей может различаться. Так, при внутреннем монтаже в полости использование функции cavities необходимо, тогда как при монтаже в компаунд



**Рис. 1.** 3D-изображение микросистемы со встроенным в полость кристаллом из среды проектирования Xpedition Enterprise: а – отображение в режиме «твердого тела» со стороны слоев перераспределения; б – отображение в режиме контуров (видна полость с кристаллом в центре)

может быть использован тип компонентов buried без создания полостей.

При организации производства возникают вопросы о том, какие проектные данные и каким способом необходимо предоставить для гарантированного изготовления изделий со встроенными кристаллами за один производственный цикл. Такой заказ отличается от заказа по изготовлению печатных плат. Особенность заключается в том, что сборка и монтаж элементов/компонентов является теперь задачей производителя. Поэтому необходимо организовать тесное сотрудничество с производителем и поставщиком элементов на протяжении всего цикла разработки. Также важно отметить, что для того, чтобы протестировать модуль необходимо предоставить данные о схеме модуля/микросистемы, что обычно не делается при передаче платы или подложки на производство. По крайней мере, данные требования создают множество проблем для предприятий оборонной и авиационной



**Рис. 2.** Сравнение уровня плотности трассировки: а – для поверхностно-монтируемого компонента с матричным расположением выводов; б – для компонента, встроенного внутрь подложки с матричным расположением выводов

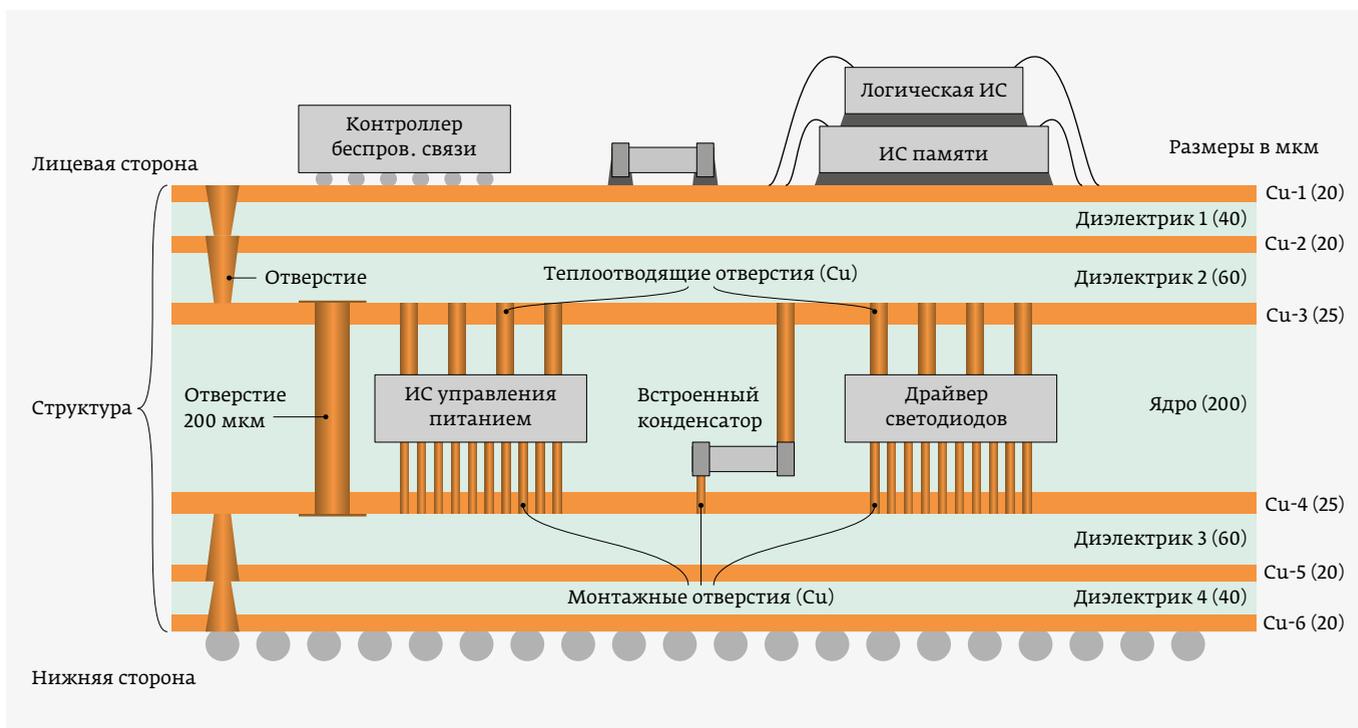


Рис. 3. Структура поперечного разреза ECP-модуля

промышленности. Решением служит формат ODB++, который на сегодняшний день является наиболее распространенным форматом данных для изготовления, может поддерживать процесс передачи правил проектирования, сборки и испытания на производство.

Нельзя оставить без внимания проблему выхода годных изделий. В случае возникновения проблем с работоспособностью встроенных бескорпусных микросхем внутри подложки модуля / микросистемы практически невозможно произвести их замену. Решение заключается в использовании гарантированно годных кристаллов и тщательном контроле производственных процессов, чтобы максимально повысить процент выхода годных на каждом этапе. Согласно современным тенденциям дешевле заменить неработающий модуль, чем тратить время и деньги на выявление неисправностей и проведение ремонта. К тому же, если соблюдать рекомендации по применению ограниченного количества встроенных кристаллов (изготовленных на современном полупроводниковом производстве с высоким процентом выхода годных) в одном модуле, например до пяти штук, риски значительно уменьшаются.

### ПРИМЕР ПРОЕКТА МОДУЛЯ СО ВСТРОЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Проблемы проектирования и передачи данных на производство можно рассмотреть на примере модуля, выполненного по технологии ECP. Модуль реализован на подложке размерами 12×14 мм (0,45×0,55 дюймов), в которую встроены бескорпусные микросхемы. Модуль содержит 670 контактных площадок, их эффективная плотность составляет почти 2750 КП/дюйм<sup>2</sup>. Конструкция модуля включает в себя 630 цепей, общая длина которых составляет 1043 мм (41 дюйм), и 1450 отверстий. Структура поперечного разреза модуля представлена на рис. 3.

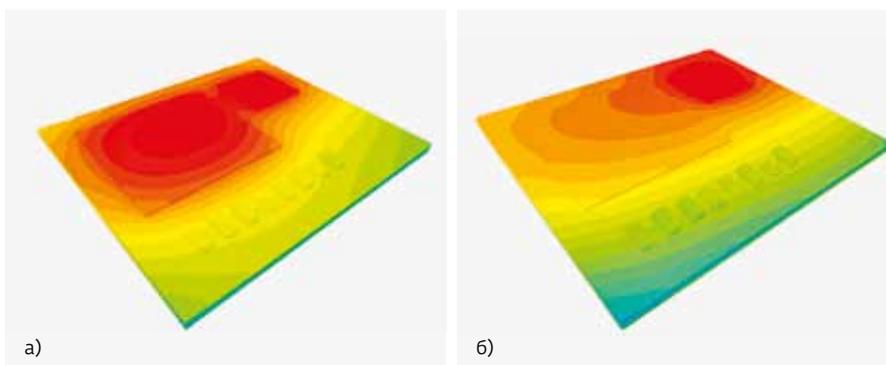
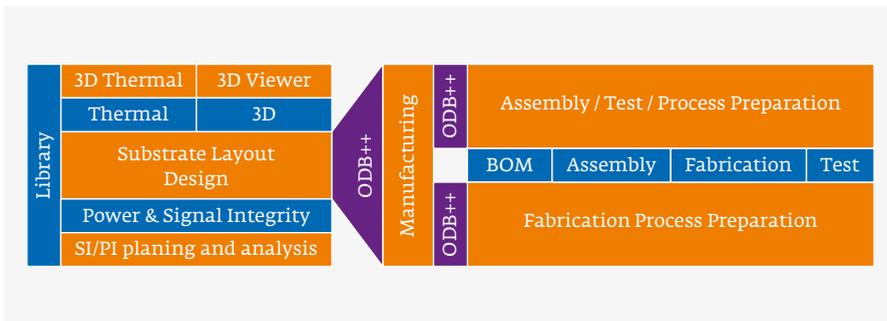


Рис. 4. Результаты теплового 3D-анализа ECP-модуля: а – исходный вариант конструкции; б – конструкция с массивами из теплоотводящих отверстий под кристаллами



**Рис. 5.** Маршрут проектирования, изготовления и подготовки к сборке электронного модуля / микросистемы со встроенными элементами

Рассмотрим, с какими трудностями и проблемами пришлось столкнуться при разработке данного ЕСР-модуля. Для сравнения разработка проекта проведена двумя способами: 1) традиционными средствами проектирования; 2) средствами современного специализированного программного обеспечения.

Во-первых, необходимо было решить проблему отвода тепла, вырабатываемого модулем. Для этого был использован инструмент для теплового 3D-анализа, позволяющий выявить критичные места с наибольшим тепловым излучением. Рассматривалось несколько различных решений, чтобы распределить тепло и избавиться от излишков тепла. Выявлено, что наиболее эффективным для данной конструкции модуля решением стало добавление массивов из теплоотводящих отверстий под двумя встроенными кристаллами. Результаты моделирования двух вариантов конструкции показаны на рис. 4.

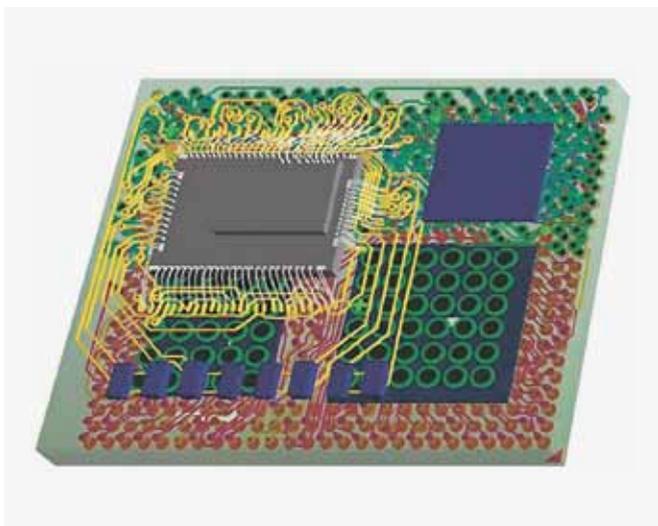
Во-вторых, при проектировании возникали проблемы с размещением элементов внутри диэлектрических слоев, а не на слоях металла. Обойти эту проблему

удалось путем добавления фиктивных или «виртуальных» слоев, которые настраивались в «менеджере слоев» специализированного программного обеспечения.

В-третьих, выявлены проблемы с переходными отверстиями, которые могут располагаться на минимальном расстоянии от границы встроенных элементов, и большинство САПР не могут это контролировать. Это справедливо и при подсоединении коммутационных слоев подложки к контактным площадкам

кристалла, расположенным с двух его сторон. Расположение компонентов – еще одна особенность при проектировании модулей по технологии внутреннего монтажа. Большинство САПР автоматически располагает компоненты зеркально в зависимости от того слоя, где он находится. Однако, для создания проекта со встроенными кристаллами должна быть возможность располагать элементы зеркально независимо от слоя, на котором он находится, или положения по оси Z. Большинство этих проблем можно обойти традиционными средствами разработки, но с определенными рисками получения неработоспособного изделия, поскольку автоматическая проверка правил проектирования в этом случае становится бесполезной.

В-четвертых, обнаружены трудности в корректной подготовке данных для изготовления модулей / микросистем со встроенными элементами. В частности, возникли проблемы при преобразовании виртуальных слоев в физические слои в процессе технологической подготовки к производству в САМ-системе традиционного маршрута. Кроме того, переходные отверстия, а также слои и ориентация элементов при обработке данных в САМ-системе были некорректно представлены в выходных данных. Все эти трудности создают множество причин для возникновения ошибок. Сквозной маршрут специализированного



**Рис. 6.** 3D-модель ЕСР-модуля

ООО  
СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные компоненты

для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Керамические конденсаторы до 100 мкФ
- Синфазные дроссели на ток 10 А

Москва, Ленинградский пр. 80 к. 32, e-mail: sale@smd.ru

Тел: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

программного обеспечения, который позволил избежать указанных проблем, представлен на рис. 5.

В результате, за счет использования специализированного программного обеспечения было достигнуто сокращение времени разработки более чем на 40% по сравнению с традиционными средствами разработки. На рис. 6 представлен проект модуля ECP, разработанный в сквозном маршруте САПР компании Mentor, A Siemens Business.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря своим преимуществам при создании сложно-функциональных и, при этом, малогабаритных, электронных устройств (микросистем, микросборок, систем в корпусе) технологии внутреннего монтажа активно развиваются в мире. С каждым годом возрастают объемы производства изделий со встроенными элементами. Возможно в ближайшем будущем технологии внутреннего монтажа перейдут в статус традиционных, массовых технологий, как это было в свое время с технологией поверхностного монтажа. Но несмотря на это в России разработчики и производители электроники не спешат применять и внедрять данные технологии, опасаясь различных рисков. Успешное внедрение требует сотрудничества между всеми участниками процесса, включая

поставщиков элементов/компонентов, разработчиков САПР и производства. Проектирование современных сложно-функциональных устройств со встроенными элементами имеет ряд важных особенностей, связанных как с созданием конструкции и топологии коммутационных подложек и слоев, так и с передачей данных об изделии на производство. В примере, приведенном в данной работе, показано, что при использовании специализированного сквозного маршрута САПР можно сократить количество ошибок и уменьшить время проектирования на 40% по сравнению с традиционными средствами, что делает процесс разработки более эффективным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Рольский К. А., Ефремов Е. В., Вертянов Д. В.** Проектирование электронного модуля со встроенными в печатную плату бескорпусными микросхемами // Интеллектуальные системы и микросистемная техника. Кабардино-Балкария. 2019. С. 163–172.
2. **Вертянов Д. В., Сикоев В. Г., Горюнова Е. П., Тимошенко С. П.** Комплексное проектирование микросистем на печатных платах в САПР Mentor Graphics. Учеб. пособие. ч. 1: Центральная библиотека Library Manager / Министерство образования и науки РФ, НИУ «МИЭТ»; под ред. Тимошенко С. П. – М.: МИЭТ, 2019. С. 172.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

### МНОГОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОДНОМ КРИСТАЛЛЕ. РАЗРАБОТКА АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ И ИНТЕГРАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Под ред. М. Хюбнера, Ю. Бекера

При поддержке ФГУП «НИИМА «ПРОГРЕСС»

Перевод с англ. под ред. д. т. н., проф. В. Г. Немудрова

Книга представляет собой обзор системного проектирования с использованием архитектур многопроцессорных систем на одном кристалле (multiprocessor system-on-chip, MPSoC). В данном издании рассматриваются такие ключевые вопросы, как интеграция реконфигурируемого аппаратного обеспечения, физическое проектирование многопроцессорных систем, разработка инструментов и приложений.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2012. – 304 с.,  
ISBN 978-5-94836-333-2

#### 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)

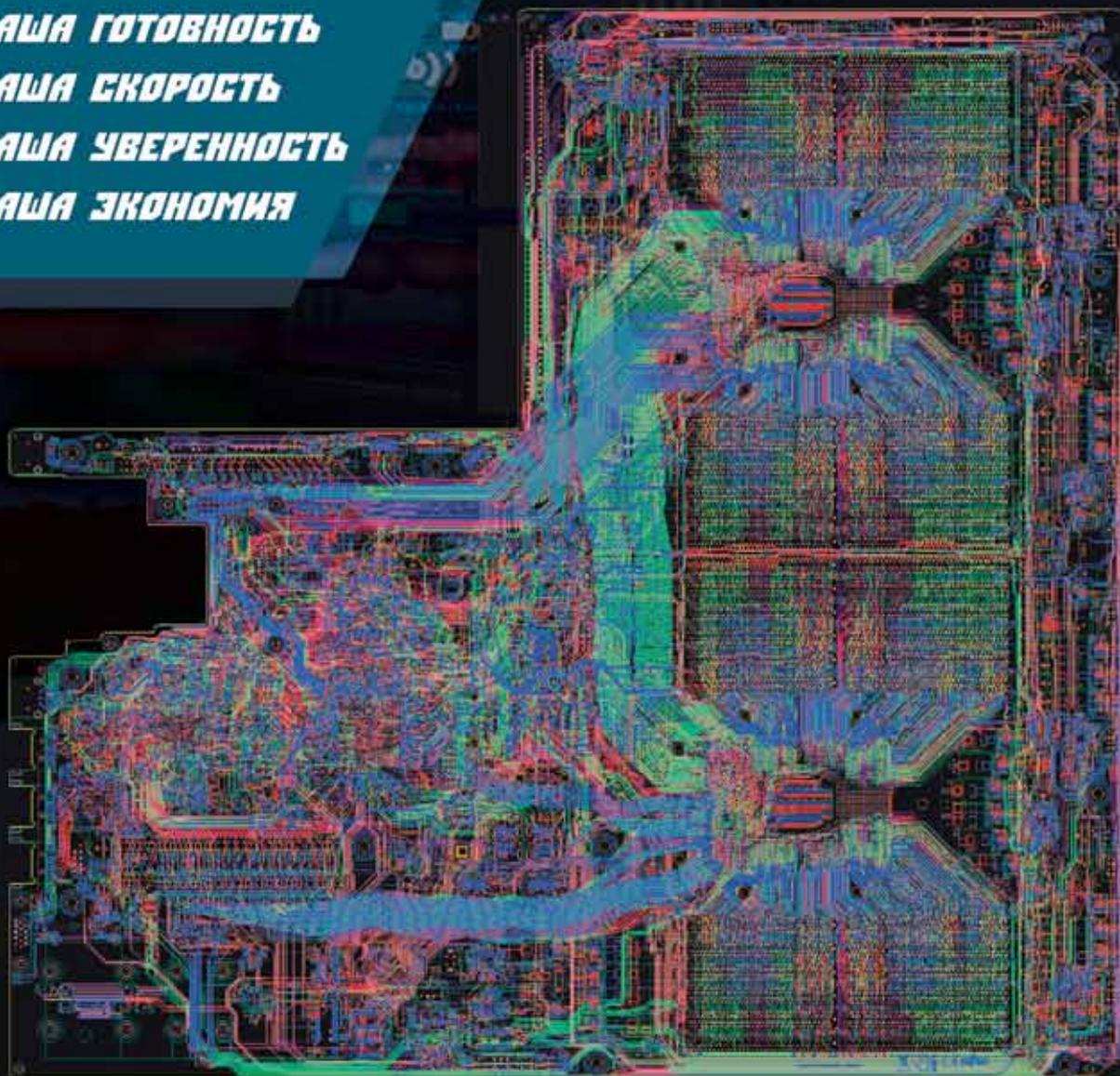
# БЕСКОМПРОМИСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНИКИ

c **pads**  
Professional

ВСЕГО ЗА **299 000 ₺**



*ВАША ГОТОВНОСТЬ  
ВАША СКОРОСТЬ  
ВАША УВЕРЕННОСТЬ  
ВАША ЭКОНОМИЯ*



**Mentor**<sup>®</sup>  
A Siemens Business

**NANOSOFT**  
DISTRIBUTION

[www.mentorpcb.ru](http://www.mentorpcb.ru)