

Производство печатных плат из многослойной керамики

Дмитрий Яковлев (Москва)

В статье рассмотрена практическая и технологическая ценность технической керамики как материала для изготовления печатных плат, а также основные этапы изготовления керамических печатных плат, технологические нюансы и особенности производственного цикла, освоенного в АО «ТЕСТПРИБОР».

Печатная плата представляет собой основу любого электронного изделия, входя в состав компьютеров, сотовых телефонов, военной техники. Появившись более 100 лет назад, печатная плата ознаменовала огромный скачок в развитии радиоэлектронной аппаратуры. Вследствие постоянного ужесточения требований к печатным платам, миниатюризации изделий, разработки высокоинтегрированных сборок возникла необходимость внедрения в производственные циклы нового материала. Помимо этого, получение максимальной производительности при минимальном занимаемом объёме неизбежно вызывает всё более сильное нагревание электронных компонентов. Керамические печатные платы могут применяться в составе гибридных электронных схем, в области силовой электроники, оптоэлектроники и СВЧ-техники, а также могут быть использованы для электрической изоляции конструкций, узлов и элементов различных электронных устройств. Керамика актуальна в связи с обеспечением эффек-

тивного теплоотвода от электронных компонентов с помощью материала основы. При монтаже основание платы может крепиться к радиатору. Пример такой платы показан на рисунке 1.

В настоящее время в силовой электронике и микроэлектронике широко распространены керамические платы и подложки с использованием в качестве основы производственных процессов тонких или толстых плёнок. Компанией «ТЕСТПРИБОР» освоены технологии изготовления однослойных и многослойных плат и подложек из вакуумплотной керамики на основе оксида алюминия (Al_2O_3) и нитрида алюминия (AlN) как по толстоплёночной технологии, так и по тонкоплёночной. Изделия из таких материалов характеризуются:

- высокой теплопроводностью;
- высокой степенью герметичности;
- низким коэффициентом теплового расширения;
- низкими диэлектрическими потерями;
- высокой механической прочностью;

- высоким качеством обработки поверхности.

Первым шагом при проектировании печатных плат из керамики является грамотный выбор материала подложки, который осуществляется, исходя из технических требований заказчика. Компания «ТЕСТПРИБОР» изготавливает и поставляет различного рода спечённые керамические пластины, выполненные из:

- оксида алюминия Al_2O_3 с содержанием его в количестве 92, 96 и 99%;
- нитрида алюминия AlN, в том числе полированного.

Характеристики подложек представлены в таблице.

Толщины пластин варьируются от 0,127 до 2,0 мм, возможно изготовление подложек нестандартной толщины по документации заказчика. В условиях производства АО «ТЕСТПРИБОР» освоена технология изготовления не только односторонних и двухсторонних плат на основе спечённой, но и многослойных плат на основе «сырой» керамики. Диаграмма процесса производства многослойных металлокерамических плат, а также примеры изделий, изготовленных на основе технологии высокотемпературных отожжённых керамических модулей (High Temperature Cofired Ceramics – HTCC), представлены на рисунке 2.

Качество произведённых многослойных печатных плат находится на высоком уровне, так как особое внимание на предприятии уделяется контролю и выбору сырья, используемого при

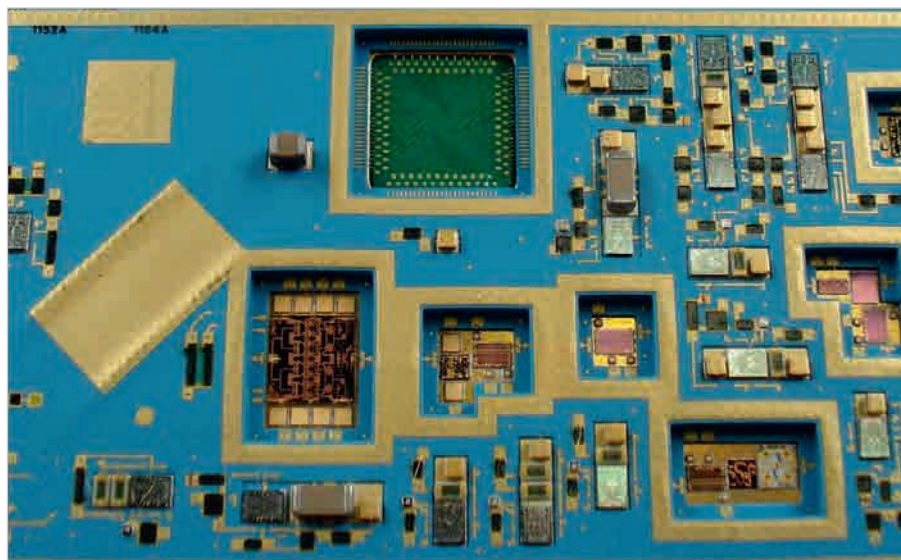


Рис. 1. Керамическая плата

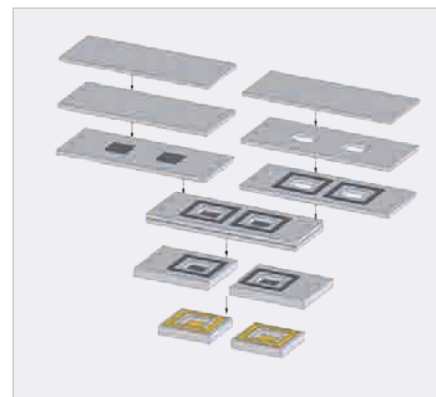


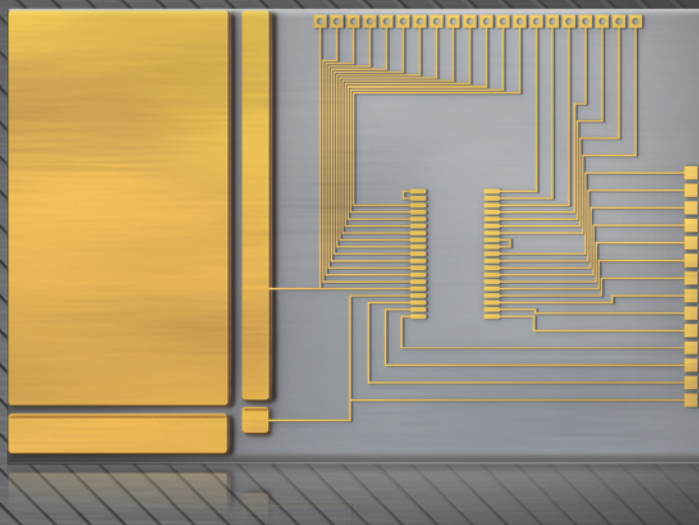
Рис. 2. Диаграмма процесса производства многослойных металлокерамических плат

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТ И ПОДЛОЖЕК

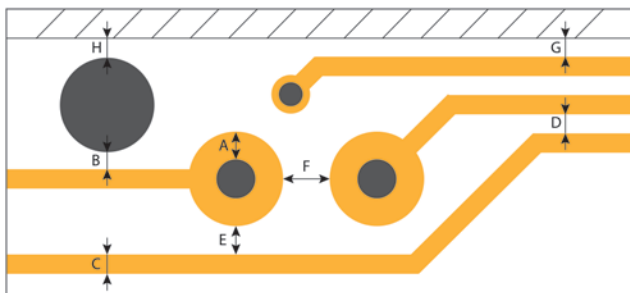
ТЕСТПРИБОР

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

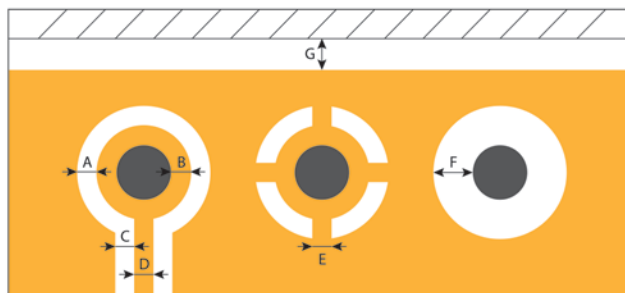
Al₂O₃ 96%
Al₂O₃ 99,6%
AlN



ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ СИГНАЛЬНЫХ СЛОЕВ



ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ СИЛОВЫХ СЛОЕВ



Наименование параметра	Керамические подложки с металлизацией на основе толстопленочной технологии	Керамические подложки с металлизацией на основе тонкопленочной технологии
Материал проводников и металлизации	W/Ni-Au или Mo/Ni-Au (Ni 5 мкм max, Au 0,5 мкм max)	TiW/Au; TaN/TiW/Au; TiW/Ni/Au; TaN/TiW/Ni/Au; TaN/NiW/Au/Cu/Ni/Au
Поверхностное сопротивление проводников	10,0 мОм/□	—
Сопротивление переходных отверстий размером (Ø0,2×0,25) мм	6,0 мОм	—
A	0,20	0,20/020
B	0,60	0,25/025
C	0,20	0,15/0,20
D	0,20/0,25	0,15/0,20
E	0,20/0,30	0,15/0,38
F	0,25/0,65	0,15/0,30
G	0,60/0,60	0,25/0,50
H	0,60/-	0,15/-

Реклама

Типы и спецификации подложек

Материал подложки	Чистота, %	Шероховатость поверхности (А), мкм	Шероховатость поверхности (В), мкм	Теплопроводность, Вт/м·°К	Диэлектрическая постоянная на 1 МГц	Тангенс угла диэлектрических потерь на 1 МГц
Оксид алюминия (Al_2O_3)	99,6	3	3	26,9	$9,9 \pm 0,1$	0,0001
Полированный оксид алюминия (Al_2O_3)	99,6	1	1/12	26,9	$9,9 \pm 0,1$	0,0001
Нитрид алюминия (AlN)	98	3	3	170	8,6	0,001

производстве керамики, а также многостадийному контролю на каждом этапе технологического процесса.

Обработка поверхности керамики, как спечённой, так и сырой, производится по ТЗ заказчика. После обжига керамика может подвергаться полировке и шлифовке до требуемых значений плоскостности, параллельности и шероховатости.

Для формирования отверстий (сквозных, переходных, торцевых, межслойных), посадочных площадок и гнезд, колодцев и т.д. при производстве керамических плат применяются следующие виды механической обработки керамики:

- пробивка отверстий используется исключительно в «сырой» керамике при небольших толщинах, позволяет получить почти идеальный край отверстия при высокой скорости обработки (до 500 отверстий в секунду), но имеет ограничения по геометрии и размерам производимых отверстий;
- лазерная обработка используется как по «сырой», так и по спечённой керамике, не имеет ограничений по геометрии и размерам формируемых элементов, но при обработке керамики толщиной от 0,2 мм выявляется небольшая конусность края получаемых элементов, что требуется учитывать при разработке ТЗ, а при толщинах более 1 мм требуется применение технологически сложных режимов обработки с применением инертных газов в качестве рабочей среды;
- резка горячим ножом применяется исключительно в «сырой» кера-

мике для разделения керамической заготовки на изделия, имеет высокую скорость обработки, особенно эффективна при групповом методе обработки деталей с высокой плотностью группы;

- прецизионная дисковая резка применяется для получения прямого сплошного реза и скрайбирования как «сырых», так и обожжённых керамических изделий. Используется для разделения керамической заготовки на готовые платы или её надрезки.

На рисунке 3 показана керамическая заготовка с расположенными на ней изделиями (групповой метод).

С помощью специального оборудования производится скрайбирование и резка спечённой и «сырой» керамики, а также прошивка в ней отверстий. Вне зависимости от выбранного способа точность обработки керамических изделий будет не хуже $\pm 0,02$ мм, что подтверждается встроенными в оборудование оптическими средствами автоматического контроля качества.

Керамические платы и подложки могут иметь как одно- или двухстороннюю сплошную металлизацию, так и топологический рисунок, сформированный в соответствии с техническими требованиями заказчика. Для металлизации керамических плат наиболее часто применяют толстоплёночную технологию Thick-Film (см. рис. 4а): проводящий топологический рисунок и изоляционные слои формируются путём нанесения металлизационной пасты методом трафаретной печати с последующим вжиганием в защит-



Рис. 3. Керамическая заготовка

ной среде. Толстоплёночная технология нанесения металлизации позволяет формировать проводниковые слои толщиной в среднем около 50 мкм и до 25 мкм после процесса вжигания. В пастах, используемых для формирования толстоплёночной металлизации методом трафаретной печати, используются различные компоненты. Ввиду специфики термических процессов в основном применяются тугоплавкие металлы молибден и вольфрам, наиболее подходящие по физическим характеристикам для высокотемпературной керамики. По требованию заказчика возможно нанесение металлизации драгоценными металлами, такими как серебро, серебро-палладий, золото. Применение паст с драгоценными металлами особенно актуально для низкотемпературной керамики. Также возможно формирование элементов топологии из резистивной или диэлектрической пасты, что позволяет «печатать» на поверхности и внутри слоёв керамических плат встроенные резисторы, конденсаторы и индуктивности.

Соответствие толщины и стабильности нанесения паст достигается при помощи строгого контроля физических параметров паст (вязкости, размера частиц и т.д.) и благодаря грамотному выбору используемого при работе материала и режимов печати.

Отдельную нишу в процессах нанесения металлизации на производстве АО «ТЕСТПРИБОР» занимают технологии DBC и STC (см. рис. 4б). Эти технологии используются для изготовления керамических плат на основе Al_2O_3 96% и AlN с металлизацией медью толщиной



Рис. 4. Металлизация, выполненная по технологии Thick-Film (а) и DBC/STC (б)

до 400 мкм, с возможностью последующего формирования заданного топологического рисунка фотолитографическими методами или методом вакуумного напыления и наращивания проводникового слоя через специальные маски.

Повышенные требования к качеству и точности нанесения металлизации выявили необходимость организации собственного изготовления сетчатых трафаретов. На предприятии осуществляется изготовление высококачественных сетчатых трафаретов со следующими характеристиками:

- максимальный размер трафаретной рамы – 450×450 мм;
- минимальный размер ячейки сетки – 0,038 мм;
- материал сетки – проволока из нержавеющей стали с минимальным диаметром 0,02 мм,
- точность изготовления фотошаблонов – не хуже 6 мкм.

Качество трафаретов, от которого напрямую зависит качество готовой металлизации, достигается за счёт:

- использования высококачественной сетки, обеспечивающей высокую степень натяжения, её малое удлинение, высокий предел текучести пасты;
- точность геометрических параметров ячеек сетки позволяет строго контролировать расход пасты, а также получать точный допуск габаритов отпечатка;
- сетка натянута таким образом, чтобы во время печати она была максимально упругой, что повышает срок её службы;
- высококачественный плёночный фоторезист обеспечивает постоянство и долговечность характеристик, отличное качество отпечатков и повторяемость.

Процесс вжигания производится в колпаковой печи в строго контролируемой по качеству газов азото-водородной среде при температуре в диапазоне от +1300 до +1700°C. Получение качественной вакуумплотной керамики достигается благодаря использованию печей с программным управлением, с точностью поддержания температуры до $\pm 0,1^\circ\text{C}$ во всём диапазоне температур и газов особой чистоты. Строгий контроль за соблюдением технологических параметров гарантирует стабильность и управляемость процессов усадки керамики. Собственная газогенерирующая установка обеспечивает производство технологическими газа-

ми чистотой 99,9995% (остаточная концентрация примесей не более 5 ppm). В зависимости от выбранного материала плат и подложек и сложности изделия процесс обжига может занимать до двух суток. Пример керамической платы до обжига (слева) и после обжига (справа) показан на рисунке 5.

Следующим этапом в изготовлении керамических плат и подложек является пайка размещённых на плате металлических элементов, например ободков, необходимых для последующей герметизации монтируемых на плату электронных компонентов, экранов или теплоотводов. Применение графитовой оснастки собственного производства в паре с компьютерными методами расчёта, а также применение специальных припойных материалов позволяет получить качественный спай между различными по коэффициенту теплового расширения материалами. На производстве применяется технология пайки керамики со следующими группами металлов: ковар, медь, псевдосплавы МД-40 и ВД-15, иные сплавы с медью/вольфрамом/молибденом, а также композитные многослойные материалы с повышенной теплопроводностью.

В рамках освоения различного рода экспериментальной и серийной продукции на производстве освоены следующие технологии нанесения гальванических покрытий:

- электрохимическое никелирование из растворов различных составов, толщина слоя покрытия до 30 мкм;
- электрохимическое никелирование сплавом никель-фосфор, толщина слоя покрытия до 30 мкм;
- химическое никелирование сплавами никель-фосфор или никель-бор, гарантированная толщина покрытия до 10 мкм. Для изделий сложной формы и топологии с большим количеством изолированных монтажных площадок (в том числе на печатных платах) и проволочных выводов применяется электрохимическое золочение, толщина покрытия составляет около 10 мкм;
- химическое и иммерсионное золочение: толщина покрытия, нанесённого химическим способом, составляет от 0,5 до 2,5 мкм. Для изделий сложной формы и топологии с большим количеством изолированных монтажных площадок (в том числе печатных плат) и проволочных выводов толщи-

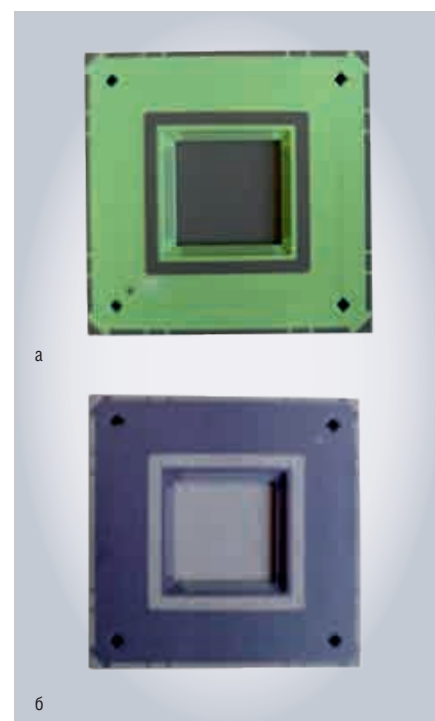


Рис. 5. Керамическая плата до (а) и после (б) обжига

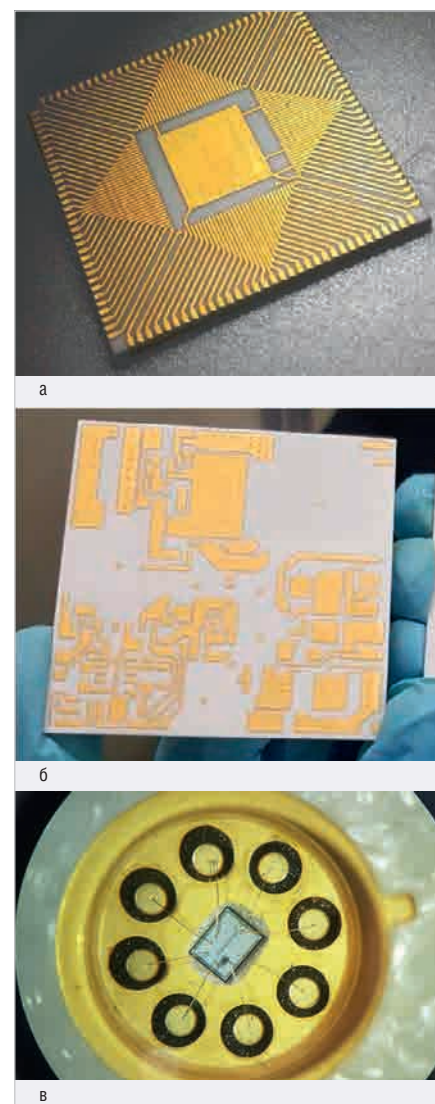


Рис. 6. Гальванические покрытия

на слоя иммерсионного покрытия доходит до 0,15 мкм.

Образцы гальванических покрытий показаны на рисунке 6.

Когда на детали имеется большое количество изолированных поверхностей, например при производстве печатных плат, или изделие имеет сложную форму, предпочтительно использовать химический способ нанесения. В подобных случаях данная технология позволяет значительно повысить качество покрытия.

Для формирования подслоя под золотое покрытие, а также других технологических целей, в том числе на металлизацию, выполненную из тугоплавких материалов (молибден, вольфрам) на диэлектрических подложках (керамика), используются покрытия из сплавов никель-бор и никель-фосфор.

При необходимости на никелевое покрытие возможно нанести слой золота химическим или иммерсионным способом, толщина наносимого покрытия золотом при этом может гарантированно достигать 2,5...3,0 мкм. Проведённые испытания изделий с таким покрытием показали, что покрытие сохраняет паяемость и антикоррозионные свойства.

Благодаря организации всех перечисленных процессов на производстве АО «ТЕСПРИБОР» освоены технологии полного цикла изготовления печатных плат на основе подложек из различных видов спечённой алюмооксидной и алюмонитридной керамики.

Высокое качество печатных плат гарантируется за счёт следующих факторов:

- изготовление керамических подложек для печатных плат происходит в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию;
- при производстве используются высококачественные трафареты для печати, изготавливаемые из специальных материалов с заданными характеристиками;
- строгий контроль физических параметров паст, грамотно подобранные составы, а также режимы нанесения и вжигания металлизации;
- особое внимание уделено проектированию оборудования и оснастке, которые обеспечивают повторяемость по толщине, характеристикам металлизации и покрытия внутри партии, равномерность покрытия на одном изделии настолько, насколько позволяют его геометрические характеристики;

● качество используемых при покрытии гальванических растворов и постоянство технологических параметров строго контролируются производственной лабораторией и инженерным персоналом;

● уникальные современные составы позволяют наносить как классические покрытия, так и редко используемые при обычной практике, например золотое покрытие, выполненное химическим способом до толщины более 2 мкм;

● контроль качества 100% изделий производится в несколько этапов по многим параметрам преимущественно неразрушающими (бесконтактными) методами, что снижает вероятность попадания бракованных изделий к заказчику.

Таким образом, на предприятии АО «ТЕСПРИБОР» освоен полный цикл производства керамических плат и подложек, в том числе изготовление уникальной технологической оснастки и трафаретов. Соответствие всем техническим требованиям заказчика достигается благодаря строгому контролю качества выпускаемой продукции на каждом этапе производства.



НОВОСТИ МИРА

НОВЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ KEYSIGHT TECHNOLOGIES С ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СИГНАЛОВ УПРОЩАЮТ И УСКОРЯЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛОЖНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Компания Keysight Technologies, Inc. усовершенствовала свои производственные анализаторы цепей PNA и PNA-X для достижения большей гибкости и точности при одновременном ускорении и упрощении требуемых измерений.

Анализаторы цепей являются незаменимыми контрольно-измерительными приборами при разработке и производстве ВЧ- и СВЧ-оборудования. Их измерительные возможности позволяют исследовать характеристики широкого класса устройств, компонентов и систем. Однако измерения характеристик активных устройств, например, коэффициента шума, компрессии усиления и интермодуляционных искажений, могут быть затруднены особенно для современных высокочастотных устройств.

Усовершенствованные анализаторы цепей PNA и PNA-X используют встроенные источники сигналов, выполненные по патентован-

ной технологии прямого цифрового синтеза (DDS) с низким уровнем гармонических составляющих, что позволяет выполнять точные измерения с малым уровнем фазового шума.



Использование источников с низким уровнем фазового шума позволяет выполнять двухтоновые измерения интермодуляционных искажений с малым значением расстройки частоты между тонами, что ранее было возможно только при использовании высокопроизводительных аналоговых генераторов сигналов.

Новые DDS-источники сигналов повышают производительность широкого спектра измерительных приложений, включая приложения для измерения модуляционных искажений, скалярных параметров и фазы смесителей/преобразователей частоты,

а также характеристик I/Q-преобразователей. Предлагая третий ВЧ-источник сигналов до 13,5 ГГц, анализатор PNA-X упрощает схему измерений, заменяя внешний генератор для формирования сигналов гетеродина.

Приборы PNA (высокопроизводительный и недорогой анализатор цепей) и PNA-X (универсальный и высокоинтегрированный СВЧ-анализатор цепей для выполнения комплекса измерений параметров активных устройств за одно подключение) компании Keysight обеспечивают следующие основные преимущества:

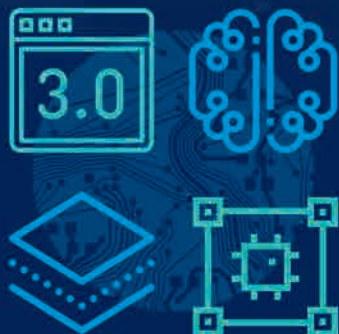
- упрощение конфигурации измерительных систем, поскольку анализатор может заменить стойку с несколькими приборами;
- сокращение времени тестирования благодаря комплексу измерений за одно подключение измеряемого устройства;
- точное измерение характеристик линейных и нелинейных устройств за счёт использования расширенных методик коррекции систематических составляющих погрешностей;
- ускорение анализа поведения компонентов благодаря сенсорному дисплею и интуитивно понятному интерфейсу пользователя.

Пресс-релиз Keysight Technologies



DeltaDesign 3.0

Новая версия первой российской современной САПР электроники
сквозного цикла проектирования



- Улучшенный интерфейс
- Импорт библиотек из САПР Altium Designer
- Обширная библиотека SPICE-моделей (> 35 000 моделей)
- Аналоговое и цифровое моделирование в едином интерфейсе Delta Design
- Работа со встроенными блоками на принципиальной электрической схеме
- Изменённый режим синхронизации схемы и платы, ведение истории изменений проекта
- Расширение функционала редактора печатных плат
- Чертёж - новый модуль для оформления КД на печатную плату
- DeltaCAM – новый программный продукт для работы с производственными файлами

Скачайте триальную версию Delta Design 3.0 beta
после короткой регистрации
www.eremex.ru/download-or-buy



-30%

Получите скидку 30% на Delta Design 3.0.
Условия участия в акции читайте на сайте
www.eremex.ru