

Технология изготовления корундовых подложек ВК-100 методом плёночного литья

Светлана Кумачёва, Юрий Непочатов, Анастасия Денисова (г. Новосибирск)

В работе приведено описание действующей в АО «НЭВЗ-КЕРАМИКС» технологической схемы получения подложек из высокоглиноземистой керамики с содержанием основного вещества 99,7% методом плёночного литья. Показано, что методом плёночного литья возможно изготовление качественных керамических подложек, удовлетворяющих высоким требованиям, предъявляемым к современным материалам для ГИС СВЧ. В сочетании с хорошо отлаженными режимами по спеканию и механической обработке керамики, метод плёночного литья хорошо зарекомендовал себя как способ получения стабильных по качеству подложек с высоким процентом выхода годных изделий.

Керамические подложки являются базовым элементом гибридно-интегральных схем (ГИС) для изделий СВЧ-техники. Материалом для изготовления керамических подложек, в зависимости от требований к техническим характеристикам прибора, может служить алюмооксидная керамика с содержанием основного вещества от 94 до 100%, бериллиевая керамика, алюминитрид-

ная и другие. Однако массовое производство ГИС ведётся с использованием корундовых керамических подложек (Al₂O₃). Подложки из Al₂O₃ имеют высокие физико-технические и электрические характеристики, которые при повышении содержания оксида алюминия до 99,7% достигают своего максимума. Такая керамика по химическому составу должна соответство-

вать требованиям, представленным в таблице 1, а по физико-механическим и электрическим свойствам – в таблице 2 (по данным, взятым из технических условий на вакуумплотную керамику аЯО.027.002ТУ).

На полированной поверхности корундовой керамики обеспечивается среднее арифметическое отклонение профиля Ra не менее 0,01 мкм. Высокий класс чистоты поверхности подложек необходим при изготовлении топологического рисунка схемы по тонкоплёночной технологии.

Технологическая схема изготовления подложек из керамики ВК-100

Изделия из технической вакуумплотной керамики с содержанием оксида алюминия не менее 99,7% (ВК-100) могут изготавливаться различными методами формования:

- осевым прессованием из гранулята;
- холодным или горячим изостатическим прессованием;
- литьём из термопластичного шликера;
- литьём из шликера на основе гранулята;
- литьём керамической суспензии на движущуюся основу (плёночное литьё);
- литьём водных суспензий в пористые формы и др.

Некоторые методы формования подразумевают использование специальной технологической оснастки – форм для прессования или литьевых форм. Такая оснастка проектируется с учётом усадки изделий после обжига и, при необходимости, с припусками на механическую обработку. Даже небольшая корректировка технологии, которая приводит к изменению размеров керамической детали, потребует внесения изменений в конструкторскую документацию на оснастку и повторное изготовление этой оснастки. Трудоёмкость и высокая стоимость литьевых и пресс-форм, а также значительные временные затраты на проектирова-

Таблица 1. Требования к химическому составу корундовых керамических подложек (Al₂O₃)

Вакуумплотная керамика		Химический состав в оксидах, весовые %	
Вид	Марка	Al ₂ O ₃	MgO
Корундовая	ВК-100-1	99,7	0,3
	ВК-100-2	99,7	0,3

Таблица 2. Требования, предъявляемые к физико-механическим и электрическим свойствам корундовых керамических подложек (Al₂O₃)

№	Физико-механические и электрические свойства	Марка корундовой керамики	
		ВК-100-1	ВК-100-2
1	Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	3,96	3,88
2	Водопоглощение, %, не более	0,02	0,02
3	Предел прочности при статическом изгибе, МПа, не менее	2800	3200
4	Температурный коэффициент линейного расширения, × 10 ⁻⁷ , 1/°C в интервале температур, °C: 20 ± 10 – 200 20 ± 10 – 500 20 ± 10 – 900 20 ± 10 – 1000	– – – 80 ± 5	60 ± 5 70 ± 5 79 ± 5 80 ± 5
5	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁶ Гц и температуре 25 ± 10°C, не более	10,3	10,5
6	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁶ Гц и температуре 25 ± 10°C, не более	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴
7	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁹ –10 ¹⁰ Гц и температуре 25 ± 10°C, не более	10	10,1
8	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁹ –10 ¹⁰ Гц и температуре 25 ± 10°C, не более	1 × 10 ⁻⁴	1 × 10 ⁻⁴
9	Удельное электрическое сопротивление, Ом × см, при температуре 100 ± 5°C, не менее	10 ¹⁴	10 ¹⁴

ние и производство оснастки, играют немаловажную роль при выборе метода формообразования.

При выборе метода формования для производства керамических подложек учитывались следующие факторы:

- широкая номенклатура изделий;
- наличие большого количества мелкосерийных заказов;
- простая форма изделий (плоские прямоугольные пластины);
- необходимость изменения размеров заготовок в зависимости от полученных значений усадок на образцах.

Таким образом, наиболее предпочтительными методами формования керамических подложек для ГИС СВЧ являются те, которые не используют специальной оснастки. В то же время

мировой опыт показывает преимущества метода литья керамических плёнок для перечисленных задач.

Метод литья керамической плёнки используется для получения тонких листов керамических материалов и заключается в том, что керамический шликер подаётся на непрерывно движущуюся основу, а толщина керамической плёнки регулируется ракельным ножом. Этот метод так же хорошо известен в других отраслях промышленности, а именно в производстве пластмасс, целлюлозно-бумажном и лакокрасочном производствах. Первоначально техника применялась в лакокрасочном производстве для определения укрывистости красок, когда тонкие (менее 50 мкм) плёнки красок наносились на

стандартные бело-чёрные пластины, а степень просвечиваемости подложки измерялась оптическим способом. Первым, кто запатентовал метод литья для производства керамических плёнок, был Гленн Ховатт. В своём патенте он указал, что метод формования керамических материалов в тонкие плёнки найдёт широкое применение в радиоэлектронной области. Предсказание, сделанное Ховаттом в 1952 г., сбылось: на сегодняшний день радиоэлектронное приборостроение – это основная отрасль применения керамики, изготовленной методом плёночного литья.

Особенностью плёночного литья является возможность получать большие по площади, тонкие, плоские керамические листы, которые невозможно

Новые DC/DC-преобразователи: небольшие размеры – большие возможности



- Высокая удельная мощность
- Высокий КПД
- Диапазон рабочих температур от -40 до +105°C



Серия JCD 4, 5 и 6 Вт

- Диапазоны входных напряжений 2:1
- КПД до 85%
- Гальваническая развязка вход-выход 1600 и 3500 В
- Защита от короткого замыкания длительного действия
- Габариты (Ш×Г×В): 20,32×31,75×10,4 мм



Серии JCG и JTF 8, 10, 12 и 15 Вт

- Диапазоны входных напряжений (2:1) (JCG) и (4:1) (JTF)
- КПД до 90%
- Гальваническая развязка вход-выход 1600 В
- Вход дистанционного включения/выключения
- Габариты (Ш×Г×В): 20,32×31,75×10,16 мм



Серия JNM10 10 Вт

- Диапазон входных напряжений 2:1
- КПД до 89%
- Гальваническая развязка вход-выход 5000 В (двойная/усиленная изоляция)
- Ток утечки на пациента 2 мкА
- Габариты корпуса DIP-24 (Ш×Г×В): 20,32×31,75×12,7 мм



Серия JTK 15, 20 Вт

- Диапазон входных напряжений 4:1
- КПД до 90%
- Гальваническая развязка вход-выход 1600 В
- Дистанционное включение/выключение
- Габариты (Ш×Г×В): 25,4×25,4×9,9 мм



Серия JCM 15, 20 Вт

- Диапазон входных напряжений 2:1
- КПД до 89%
- Гальваническая развязка вход-выход 1600 В
- Дистанционное включение/выключение
- Габариты (Ш×Г×В): 25,4×25,4×9,9 мм



Серия JCK 15, 20, 30, 40 и 60 Вт

- Диапазон входных напряжений 4:1 и 2:1
- КПД до 91%
- Гальваническая развязка вход-выход 1600 В
- Дистанционное включение/выключение, тепловая защита
- Габариты (Ш×Г×В): 25,4×50,8×10,16 мм (JCK15/20/30/40); 50,8×50,8×10,16 мм (JCK60)

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

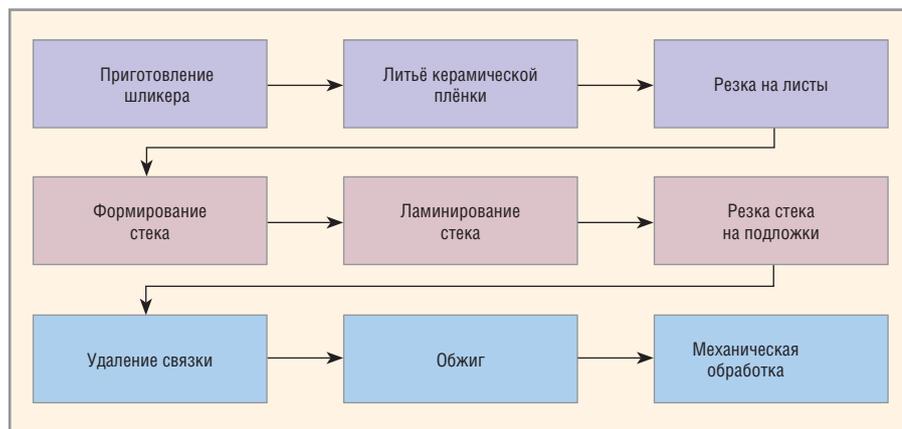


Рис. 1. Технологическая схема изготовления подложек из керамики ВК-100

изготовить прессованием или экструзией. Такие листы легко подвергаются механической обработке в сыром виде – формированию отверстий и пазов различных размеров и форм. Данное преимущество метода позволяет проектировать и производить не только подложки, но и современные многослойные керамические структуры.

Обычно для плёночного литья используют безводные шликеры, хотя известны системы, основанные на водных шликерах, которые показывают хорошие результаты по получению керамической плёнки. К тому же водные шликеры являются экологичными. Несмотря на это, безводные шликеры применяются чаще, так как обеспечивают более управляемый процесс сушки плёнки, меньший разброс геометрических размеров от партии к партии и внутри одной партии керамики, а значит и более высокий процент выхода годных изделий.

Один из вариантов технологической схемы изготовления керамических подложек методом плёночного литья представлен на рисунке 1.

На первом этапе технологии происходит приготовление шликера путём смешивания его компонентов:

- керамического порошка;
- растворителя;
- диспергатора;
- пластификатора;
- связующего.

Основным компонентом шликера является керамический порошок. Для изготовления подложек из ВК-100 применяют глинозём (Al_2O_3). После удаления связки и спекания глинозём представляет основу изделия и определяет его конечные свойства. Поэтому большое внимание при выборе глинозёмов уделяется их характеристикам, таким как гранулометрический состав, содержание основного вещества и примесей,

физические свойства и др. Также важное значение имеет форма частиц глинозёма – более равномерную структуру имеют материалы, полученные из сферических частиц, поскольку они образуют плотную упаковку.

Вспомогательные ингредиенты шликера, такие как растворитель, пластификатор, связка и диспергатор, позволяют придать форму изделию.

Растворитель для органической фазы требуется только на начальной стадии процесса изготовления листового керамического материала. Растворитель позволяет быстрее смешать компоненты органической фазы, получить органическую фазу нужной вязкости для более полной гомогенизации с порошками керамического наполнителя, придать керамической композиции текучесть. В качестве растворителей могут быть использованы этанол, толуол, метилэтилкетон, ксилен и др., а также их смеси. Остальные компоненты шликера должны быть подобраны таким образом, чтобы они растворялись в сольвенте (растворителе).

Есть множество плюсов в использовании бинарного (двухкомпонентного) растворителя:

- растворимость компонентов шликера различна в каждом сольвенте;
 - возможность контролирования скорости высыхания ленты;
 - возможность контролирования реологических свойств шликера.
- Диспергатор выполняет ряд функций:
- разделение частиц, чтобы связка могла покрыть каждую частицу в отдельности;
 - повышение содержания твёрдой фазы в суспензии;
 - уменьшение количества растворителя с целью сокращения времени сушки ленты и уменьшения усадки;
 - удаление при нагревании.

Самым распространённым диспергатором в плёночном литье традиционно считается рыбий жир (Menhaden Fish Oil). Он позволяет связать частицы порошка и органического связующего посредством липофильной и гидрофильной групп, предотвращая их агрегацию.

Связующее служит для получения сырой керамической ленты. Связка образует некую сетку, которая соединяет всю химическую систему вместе на время технологического процесса до обжиговых операций. Также можно сказать, что сырая керамическая лента – это полимерная матрица с большим количеством керамического порошка. Связка придаёт керамической ленте гибкость, прочность, пластичность, гладкость, твёрдость. Количество связующего компонента должно находиться в определённых пределах, поскольку это влияет на качество керамики (сырую плотность, наличие пор, прессуемость, температурную кривую удаления связки, геометрические размеры изделия). Выбор связующего компонента зависит от типа растворителя и керамического материала.

Пластификатор используется для получения гибкой ленты, т.е. сырая плёнка может деформироваться без трещин. Это достигается за счёт того, что пластификатор окружает молекулы полимера и удерживает их на расстоянии, причём это расстояние может изменяться в определённых пределах. Пластификатор должен соответствовать следующим требованиям:

- совместимость с полимером связующего;
- высокая температура кипения и низкое давление пара;
- высокая эффективность придания пластичности;
- химическая и термическая стабильность;
- придание пластичности при низких температурах.

Второй этап – литьё керамической плёнки. Литьё керамической ленты проводили на промышленной установке KEKO Equipment Ltd. (Словения). Литьевая машина для производства керамической ленты представляет собой высокопроизводительную линию для массового производства (см. рис. 2).

Принципиальная схема процесса приведена на рисунке 3. Она включает стационарно установленные ракель-



Рис. 2. Линия для литья подложек КЕКО

ный нож и литьевую коробку, движущуюся ленту-носитель и зону сушки. Шликер подаётся в литьевую коробку, которая расположена перед ракельным ножом. Нож поднят на определённую высоту от транспортирующей ленты, на которую подаётся шликер, и определяет толщину сырой керамической плёнки. Удаление растворителя происходит под влиянием температуры. Нагревание ленты происходит как снизу (нагреваемые плиты), так и воздушными потоками сверху. В зависимости от модели машины зона сушки может отличаться по длине и количеству зон, в которых устанавливается отдельная температура. После испарения растворителей на носителе остаётся керамическая плёнка, готовая для дальнейших манипуляций.

Метод плёночного литья, на первый взгляд, кажется довольно доступным, но конструкция ракельного ножа и самой литьевой машины, а также составы шликеров, обеспечивающих работоспособность процесса, не так просты. Несмотря на многолетние практические исследования данного метода формования, на некоторые вопросы, связанные с технологией плёночного литья, ответов ещё нет. Обычно технолог на практике определяет такие переменные процесса, как уровень заполнения литьевой коробки, скорость движения носителя, вязкость шликера, форма ракельного ножа, температура сушки по зонам и мощность потоков воздуха. При правильном подборе всех режимов на выходе операции мы будем иметь рулон гибкой, пластичной и довольно прочной керамической плёнки, нанесённой на ленту-носитель.

На следующей операции происходит резка керамической плёнки (вместе с лентой-носителем) на листы раз-

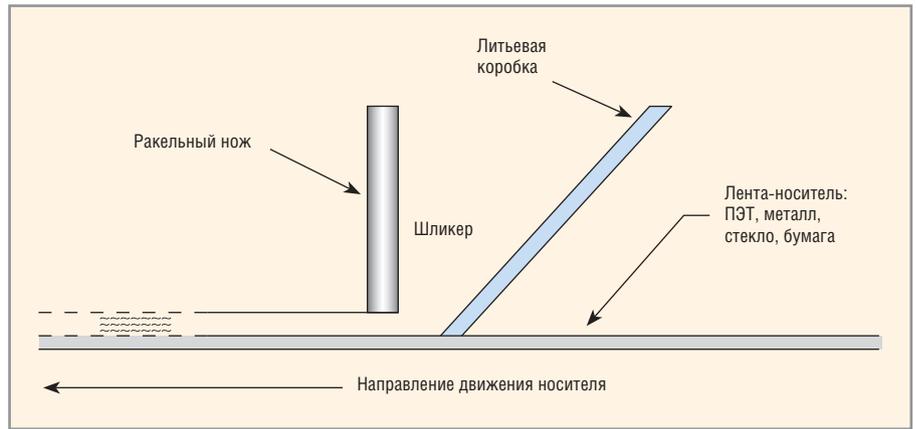


Рис. 3. Принципиальная схема плёночного литья

мером 200 × 200 мм. Одновременно осуществляется их визуальный контроль на наличие дефектов: пузырей, трещин и других неоднородностей. Выборочно проводится контроль толщины листов керамики в пяти точках – по углам и в середине. Особенностью метода является разброс толщины листа в поперечном направлении, поэтому при ширине отлитой плёнки 250 мм рабочей считается средняя зона, не превышающая 200 мм. В технологиях, требующих повышенной точности, этот размер может быть уменьшен до 100 мм.

На операции формирования стека керамические листы отделяют от плёнки и собирают в стопку (стек) нужной толщины. При сборке стека производится дополнительный визуальный контроль дефектов плёнки «на просвет». Для исключения накопления дефектов по толщине каждый последующий лист в стопке поворачивается на 90°. Собранный стек помещают на металлическую пластину, вакуумируют и передают на операцию ламинирования.

Ламинирование – это прессование керамического стека, позволяющее сформировать монолитную керамическую структуру. Существует большое количество методов прессования, но наилучшее качество обеспечивается при использовании изостатической ламинационной системы. В этом случае стек в вакуумном пакете помещается в камеру, которая затем наполняется жидкостью (чаще всего смесью воды и глицерина). Контрольными точками операции являются температура, давление и время выдержки. Температура ламинирования выбирается в зависимости от органических фаз, присутствующих в листах (связующее и пластификаторы), количества слоёв (керамиче-

ских листов) и толщины стека. Время выдержки при максимальной температуре должно быть достаточным, чтобы прогреть весь стек. Давление прессования должно обеспечить плотный контакт слоёв друг с другом, не разрушая их и не изменяя их размеров по осям x, y. Искажения размеров могут быть устранены путём использования «закрытых» систем. В нашем случае «закрытость» системы обеспечивается вакуумированием стека в полиэтиленовых пакетах и использованием плотных прокладок сверху и снизу стека. Также на качество ламинирования влияет последовательность укладки листов. Вследствие сегрегации связующего по толщине листа необходимо исключить вероятность соединения двух сторон с низким его содержанием и следить, чтобы верх одного листа стекировался с нижней частью второго. Также эффективным приёмом является прогрев стека на промежуточном давлении. Иногда достаточно нескольких минут, чтобы система пришла в равновесное состояние. Обычно температура прессования для большинства органических систем варьируется в пределах 70–90°C, давление составляет от 35 до 70 МПа.

На следующем этапе происходит резка керамического стека (групповой заготовки) на отдельные изделия. Операция проводится на установке SM-15A (см. рис. 4).

Групповая заготовка предварительно прогревается на дополнительном столике, после чего переносится на основной стол, фиксируется вакуумом и режется в автоматическом режиме по заданной программе. Нарезанные заготовки кладут на карбид-кремниевые лещадки (подовые плиты) и передают на операцию удаления связки.

Операция удаления связки осуществляется в печи Nabertherm N500 при



Рис. 4. Установка нарезки сырой керамики CM-15A

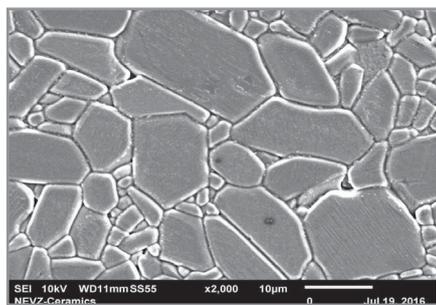


Рис. 5. Микроструктура поверхности подложки

температуре 550°C. Сущность процесса выжигания связки заключается в термической обработке полученных изделий для удаления остатков органического связующего. Данный процесс может быть организован как в печах непрерывного, так и периодического действия. При выжигании органики происходит её окисление до газообразных продуктов с последующим их удалением. Скорость нагрева при выжигании не должна быть высокой – порядка 0,5 °C/мин. Это необходимо для медлен-

ного, постепенного выгорания органики. В противном случае произойдёт разрушение изделия, либо в нём появятся разрушающие напряжения. С этой целью в состав растворителя входят два или три компонента, которые выгорают при разных температурах. Среда в печи должна быть окислительная, а максимальная температура не должна превышать 1200°C. В таблице 3 представлены характеристики подложек ВК-100, прошедших операцию удаления связующего.

Наиболее ответственной операцией процесса является высокотемпературное спекание подложек. В общем виде физическая сущность процесса спекания керамики состоит в том, что система, состоящая из предварительно уплотнённых мелкодисперсных частиц вещества, при высокой температуре обжига стремится приобрести энергетически более выгодное, равновесное состояние. Это состояние, в сравнении с исходным, характеризуется меньшей суммарной поверхностью и меньшей поверхностью раздела фаз. То есть движущей силой процесса спекания является уменьшение свободной энергии системы, проявляющееся в уменьшении поверхности раздела фаз.

Для корундовой керамики ВК-100 характерен процесс твердофазного спекания. В составе керамики группы ВК-100 содержание дополнительного оксида незначительно, поэтому количество второй фазы, возникающей в результате химического взаимодействия, невелико. Однако влияние её на спекание весьма заметно, так как, располагаясь тонким слоем на зёрнах основного оксида, она изменяет энергетические характеристики поверхности зерна.

Оксид магния образует на поверхности частиц оксида алюминия шпинель, которая тормозит рост кристаллов в стадии уплотнения. Быстрый рост кристаллов приводит к захвату кристаллами пор, последние же делают керамику непрозрачной: они рассеивают свет. При температурах выше 1600–1650°C в вакууме или водороде шпинель разлагается с улетучиванием оксида магния. С исчезновением шпинели начинается интенсивный рост кристаллов оксида алюминия.

Для обжига керамических подложек ВК-100, изготовленных из глинозёма Nabalox NM713-10, использовались вакуумные печи СНВЭ.

После обжига проводится межоперационный контроль качества обожжённых подложек. Контролируемыми параметрами являются плотность (гидростатическое взвешивание), пористость и макродефекты (фуксиновый контроль), прочность на изгиб, диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь.

Шлифование подложек производится на плоскошлифовальных станках алмазными кругами. При этом чистота поверхности керамических подложек из ВК-100 достигает 8 класса.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДЛОЖЕК ВК-100

Подложки, изготовленные методом плёночного литья, имеют характеристики, приведённые в таблице 4.

Исследование структуры подложек ВК-100 показывает, что керамика состоит из гексагональных кристаллов с чёткими границами. Материал однофазен и обладает плотностью, близкой к теоретической. Максимальный размер кристаллов – 25 мкм.

Внешний вид подложки из керамики ВК-100 представлен на рисунке 5.

В сочетании с хорошо отлаженными режимами по спеканию и механической обработке керамики метод плёночного литья хорошо зарекомендовал себя как способ получения стабильных по качеству подложек с высоким процентом выхода годных изделий.

В настоящее время на предприятии АО «НЭВЗ-КЕРАМИКС» освоено серийное производство керамики ВК-100, из которой изготавливаются керамические подложки различных габаритных размеров: от 10 × 10 до 120 × 120 мм и толщиной от 0,2 до 3,2 мм.

Таблица 3. Характеристики ВК-100 после удаления связки

Показатели	Значение
Содержание основного вещества, %, не менее	95
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	3,5
Водопоглощение, %, не более	0,08

Таблица 4. Характеристики подложек, изготовленных методом плёночного литья

№	Физико-механические и электрические свойства	Значение
1	Кажущаяся плотность, г/см ³	3,96 ± 0,01
2	Предел прочности при статическом изгибе, МПа, не менее	500
3	Температурный коэффициент линейного расширения, × 10 ⁻⁷ , 1/°C в интервале температур 20...900°C	80 ± 5
4	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁹ –10 ¹⁰ Гц и температуре 25 ± 10°C	9,6–9,8
5	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁹ –10 ¹⁰ Гц и температуре 25 ± 10°C, не более	0,0001
6	Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом × см, при температуре 150 ± 5°C, не менее	2 × 10 ¹⁴



ADLINK
TECHNOLOGY INC.

Высокопроизводительное PXI/PXIe-оборудование ADLINK для тестирования и измерений



PXIe-
контроллеры

HDMI-модули
видеоахвата

Высокоскоростные
модули АЦП

Модули
сбора данных

Коммутаторы

PXI Express-шасси



PXI Express-платформа



NEW

PXES-2590+PXIe-3985

3U, полностью гибридное
9-слотовое шасси,
PXIe-контроллер
с процессором Intel Core i7

Высокоскоростной модуль АЦП



NEW

PXIe-9852

2 канала аналогового ввода,
частота опроса 200 МГц,
разрешение 14 бит,
встроенная память 1 Гбайт

18-слотовое 3U PXI Express-шасси



PXES-2780

10 гибридных
и 6 PXI Express-слотов,
системная пропускная
способность до 8 Гбайт/с

HDMI-модули видеоаудиозахвата



NEW

PXIe-HDV62A

Одноканальный модуль
видеоаудиозахвата
высокого разрешения



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADLINK

PROSOFT®

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
АЛМА-АТА Тел.: (727) 220-7140/7141 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com
ВОЛГОГРАД Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
КАЗАНЬ Тел.: (843) 203-6020 • Факс: (843) 203-6020 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru
КРАСНОДАР Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Н. НОВГОРОД Тел.: (831) 215-4084 • nnovgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ОМСК Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru
ПЕНЗА Тел.: (8412) 494-971 • Факс: (8412) 494-971 • penza@prosoft.ru • www.prosoft.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru