

Тонкопленочные IPD – технологии, перспективы

М. Макушин¹

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Тенденции цифровизации в сочетании с растущим спросом на мобильную электронику с расширенными возможностями подключаемости оказывают сильное влияние на рынок пассивных компонентов. Сама электроника становится все более сложной и портативной, что требует миниатюризации комплектующих, включая пассивные компоненты. Одним из путей удовлетворения этих требований является создание интегрированных пассивных приборов (integrated passive devices, IPD). Наиболее перспективными из них считаются тонкопленочные IPD.

Первые интегрированные пассивные компоненты появились в 1960-х годах в виде резисторных сборок, реализованных в корпусах с однорядным расположением выводов (SIP). Пионером в этой области стала корпорация Vishay Intertechnology. С тех пор и число типов IPD, и область их применения существенно расширились. Сейчас в IPD в различных сочетаниях интегрируются конденсаторы, резисторы, индукторы и другие пассивные компоненты. В современной портативной электронике может использоваться до 40 дискретных пассивных компонентов, ИС или модулей. Поэтому в целях дальнейшей миниатюризации электронных систем необходимо сокращать число и / или площадь, занимаемую пассивными компонентами. Именно в этом основное назначение IPD.

Наиболее перспективным направлением развития IPD считаются тонкопленочные приборы. В настоящее время тонкопленочные IPD применяются в основном для защиты от электростатических разрядов и электромагнитных помех. Однако в последнее время эти приборы находят все большее применение в радиоэлектронике – например, во входных каскадах радиомодулей 5G мобильных телефонов. Соответственно, развитие технологий и развертывание 5G сетей / средств связи открывает перед сектором тонкопленочных IPD огромные и долгосрочные перспективы роста продаж и дальнейшего совершенствования технологий. Не менее важным фактором, стимулирующим рост спроса на тонкопленочные IPD, можно считать происходящее развитие автономных транспортных средств, в структуре которых, как ожидается, все большую долю будут занимать

транспортные средства с гибридной силовой установкой (двигатель внутреннего сгорания / электромотор) и электромобили. Конечно, в натуральном выражении рынок автомобилей почти более чем на два порядка уступает рынку смартфонов, но в каждом гибридном автомобиле, а тем более в электромобиле, требуется намного больше пассивных компонентов. Кроме того, перспективными секторами конечного применения для тонкопленочных IPD можно назвать носимую электронику, включая индивидуальные медицинские приборы (развитие сектора персонализированного здравоохранения).

Помимо прочего стоит отметить, что развитие пассивных электронных компонентов достаточно тесно связано с развитием полупроводниковых приборов. Там, где возможности планарных архитектур исчерпываются, появляется необходимость использования 3D-архитектур. Такое утверждение одинаково верно и для полупроводниковых приборов, и для пассивных компонентов, включая тонкопленочные IPD.

ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА ПАССИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

По данным исследовательских фирм Research and Markets и Mordor Intelligence, рынок пассивных электронных компонентов в 2020 году оценивался в 30,98 млрд долл. В 2026 году его объем достигнет 39,59 млрд долл. Это означает, что среднегодовые темпы роста в сложных процентах (CAGR) за прогнозируемый период (2021–2026 годы) составят 4,2%.

Тенденции цифровизации в сочетании с возросшим спросом на подключаемость и мобильность не только усложняют электронику, но и стимулируют спрос на пассивные компоненты во многих конечных применениях,

¹ АО «ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

включая потребительскую и автомобильную электронику, средства связи. Потребительская электроника демонстрирует самое высокое потребление индукторов (для питания в различных сложных цепях, управления током, а также в качестве фильтров в цепях для отсека нежелательных частот). Устойчивый спрос на индукторы демонстрируют такие потребительские товары, как телевизоры, носимая электроника и вычислительные устройства. Тенденция роста применения подключаемых и интеллектуальных приборов ведет в ближайшем будущем к увеличению числа используемых ИС, а соответственно, к увеличению спроса на индукторы.

Миниатюризация печатных плат, достижения в области полупроводниковых приборов и схемных архитектур стимулируют спрос на конденсаторы в смартфонах. Встроенные конденсаторы в смартфонах обычно используются в виде многослойных керамических конденсаторов класса I или класса II. С ростом внедрения 5G-технологий потребуется больше конденсаторов, чтобы удовлетворить потребности в более высокой эффективности. Кроме того, в смартфонах используются и другие пассивные компоненты, например индукторы (схематехника встроенных камер, приводы и динамики) – в одном мобильном телефоне их может быть несколько. Таким образом, смартфоны становятся крупнейшим сектором потребления индукторов.

По данным Всемирного экономического форума к 2035 году ежегодно будет продаваться более 12 млн полностью автономных автомобилей (25% мирового рынка автомашин). Соответственно, существенно расширяется рынок автомобильной электроники и пассивных компонентов. Ввиду повышения требований к пассивным компонентам недавно принят новый стандарт их стресс-тестирования – AEC-Q200, призванный обеспечить более высокий уровень надежности [1, 2].

Что касается материалов, то по данным корпорации Raumanok Publications, стоимость основных материалов, потребляемых при производстве пассивных компонентов в качестве диэлектриков, электродов и других элементов, в 2019 году составила 10 млрд долл. Как ожидается, к 2024 году этот показатель может увеличиться до 12,3–12,9 млрд долл. На конденсаторы приходится до 70% спроса, остальное используется при изготовлении резисторов, магнитов, датчиков и т. д. Любые колебание цен или ограничения доступности этих основных видов сырья может оказать негативное влияние на величину прибыли производителей электронных компонентов. Однако производители компонентов или их клиенты (производители комплектного оборудования – OEM, и поставщики услуг производства электроники – EMS) редко обладают возможностью долгосрочного прогноза различных подуровней цепочки поставок [3].

Переходя к тонкопленочным IPD, надо отметить, что наиболее распространенным материалом для подложек IPD, являются кремниевые пластины. В то же время для изделий, предназначенных для радиоприборов, начинают применяться стеклянные и GaAs-подложки (такие изделия выпускают, в частности, фирмы STMicroelectronics, Murata и Quorvo) [4].


РАЗВИТИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ IPD

По данным исследовательской группы Yole Développement, одним из движущих факторов развития тонкопленочных IPD является диверсификация приложений (средств / систем конечного применения). Как известно, основными направлениями дальнейшего совершенствования электронных устройств являются миниатюризация и интеграция. Это приобретает особое значение в ряде потребительских приложений, где создание более тонких устройств означает более высокий уровень интеграции, а это, в свою очередь, требует низкопрофильных компонентов.

Технологический процесс формирования тонкопленочных IPD обеспечивает сокращение шага элементов, лучший контроль допусков, большую гибкость и методы корпусирования, обеспечивающие более высокую степень интеграции по сравнению с другими, широко доступными технологиями. Все это вместе взятое объясняет расширение использования технологии тонкопленочных IPD в последние годы и многообещающие перспективы дальнейшего роста.

В настоящее время основным применением тонкопленочных IPD считается защита от электростатических разрядов (ЭСР) и электромагнитных помех (ЭМП) (рис. 1). При этом быстро растут значимость и объемы применения этих пассивных компонентов в таких применениях, как входные каскады радиомодулей, где требуются IPD-устройства симметрирования, диплексеры, приборы согласования и т. д. Сегодня крупными потребителями тонкопленочных IPD являются производители потребительской электроники, особенно смартфонов

ООО
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные
для поверхностного
компоненты
монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Катушки индуктивности на токи до 10 А
- U.FL разъемы и pigtail со SMA

Москва, Ленинградский пр., 60 к. 32; e-mail: sale@smd.ru
Тел: (499) 158-7396, (495) 943-6244, (499) 943-6780



Рис. 1. Основные применения тонкопленочных IPD

(во входных каскадах радиомодулей и/или для защиты от ЭСР/ЭМП). Дополнительными ценностями, которые тонкопленочные IPD привносят в конечные приложения, можно считать миниатюризацию, низкую стоимость и высокую точность. Конденсаторы, индукторы и резисторы с планарной структурой, сформированные с использованием технологий тонкопленочного осаждения, отличаются высокими эксплуатационными параметрами. Сейчас большое число фирм-производителей предлагает широкий выбор диэлектрических и резистивных материалов – в зависимости от желаемых характеристик тонкопленочных IPD.

В последние несколько лет стали коммерчески доступными, помимо планарных структур, и 3D-структуры. Они особенно подходят для получения высоких значений плотности емкости конденсаторов. 3D-технология

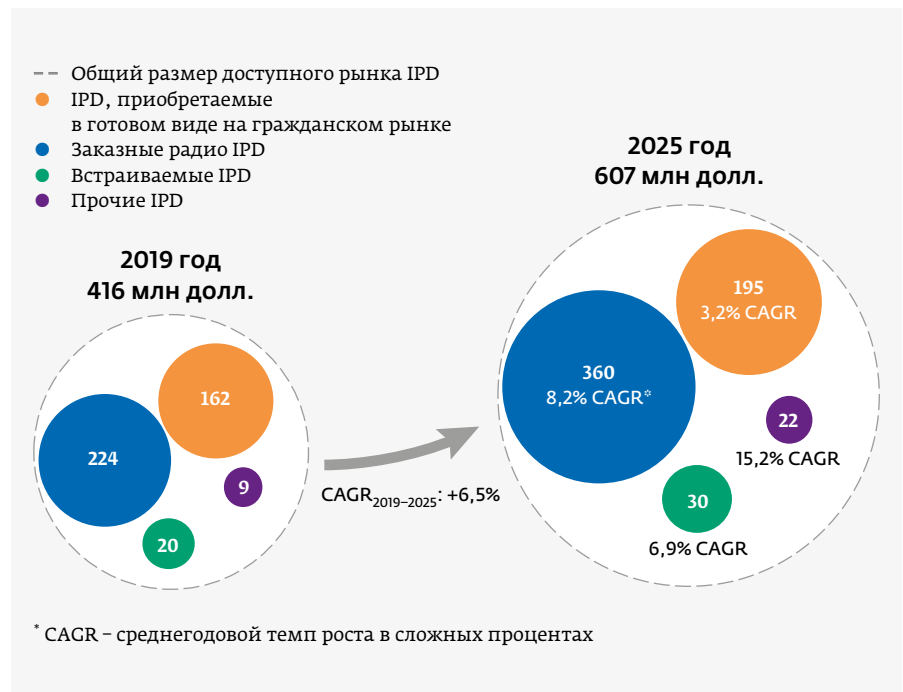


Рис. 2. Структура рынка тонкопленочных интегрированных пассивных компонентов (IPD) в 2019 и 2025 годах – фактические данные и прогноз. *Источник: Yole Développement*

открыла новые бизнес-возможности тонкопленочных IPD на других прикладных рынках – например, она используется в смартфонах, начиная с модели iPhone 7 и ее процессора A10, под столбиковыми выводами которого интегрируется несколько конденсаторов в глубоких кремниевых канавках.

На рынке цифровых и цифро-аналоговых приборов приоритетными являются плотность интеграции и миниатюризация, поэтому обычные планарные технологии уже перестают удовлетворять ужесточающимся требованиям. Плотность емкости, обеспечиваемая планарной технологией, в настоящее время далека от требуемой [4, 5].

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ IPD

Тонкопленочные интегрированные пассивные компоненты медленно, но верно захватывают рынок. Они уже утвердились в нескольких категориях пассивных компонентов, став там движущими факторами развития рынка. В настоящее время основным рынком, демонстрирующим устойчивый рост, являются заказные радиочастотные тонкопленочные IPD, используемые в радиомодулях, особенно для будущих приложений 5G.

Ожидается, что в 2019–2025 годах среднегодовой темп роста в сложных процентах (CAGR) рынка тонкопленочных IPD составит 6,5%, а общий объем продаж в конце прогнозируемого периода достигнет 607 млн долл. Крупнейшие сектора рынка – заказные радиочастотные IPD и приобретаемые в готовом виде на коммерческом рынке изделия (commercial off-the-shelf, COTS). CAGR этих секторов в период до 2025 года составит 8,2 и 3,2% соответственно (рис. 2), объемы их продаж вырастут с 224 млн долл. и 162 млн долл. до 360 млн долл. и 195 млн долл. В этом контексте

некоторые инновационные компании разрабатывают новые решения для поддержки роста продаж IPD и обеспечения возможностей 5G. В число таких компаний входит Xpeedic, один из ведущих поставщиков тонкопленочных IPD входных каскадов радиомодулей.

Своей целью фирма Xpeedic считает ускорение проектирования ИС, корпусов и систем с помощью фирменного инструментального средства САПР. При этом фирма Xpeedic не только предлагает свою САПР для проектирования входных каскадов радиомодулей (RFFE), но и напрямую поставляет тонкопленочные IPD-фильтры заказчикам, специализирующимся на RFFE.

Создание САПР Xpeedic для проектирования IPD началось с разработки решателя электромагнитного поля IRIS для внутрикристалльных пассивных компонентов и межсоединений. Поскольку IRIS был сертифицирован несколькими производителями тонкопленочных IPD, специалисты Xpeedic создали специальную платформу для проектирования тонкопленочных IPD, добавив в нее средство генерации модели наборов средств проектирования процессов (Process Design Kit, PDK) и инструмент синтеза iModeler, средства оптимизации схемного уровня, анализа выхода годных, анализа планирования под эксперимент (DoE*) и совместного моделирования пакетов. Благодаря этому можно быстро проектировать тонкопленочные IPD – от разработки спецификаций до серийного производства.

Данная САПР предназначена для поставщиков услуг кремниевых заводов. Их отличительная особенность – способность создавать конструкции «с первого захода», что критически важно для производителей мобильных телефонов из-за жестких рамок цикла проектирования.

Основные преимущества тонкопленочных IPD-фильтров фирмы Xpeedic на основе кремния с высоким удельным сопротивлением (high-resistivity silicon, HRSi) для 5G-диапазонов заключаются в компактности, низком профиле и простоте корпусирования по сравнению с низкотемпературной керамикой LTCC (low temperature co-fired ceramics)

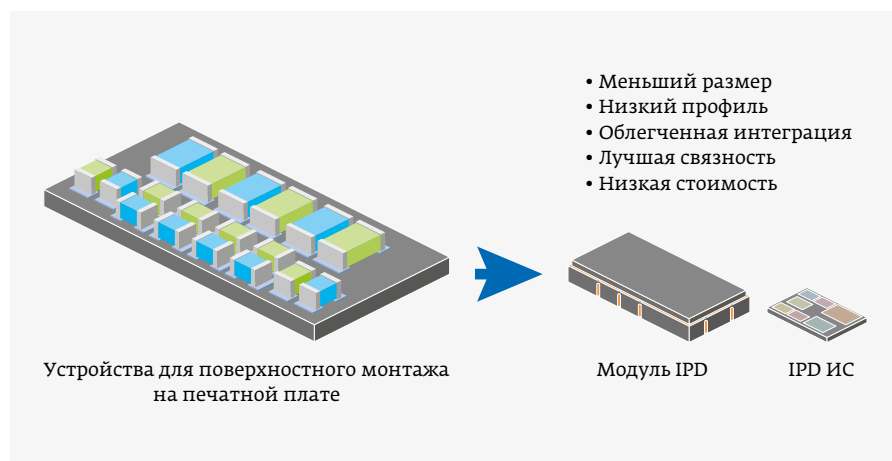


Рис. 3. Преимущества IPD по сравнению с устройствами для поверхностного монтажа. Источник: Xpeedic

* DoE (design of experiment) – проектирование под эксперимент или экспериментальное проектирование. Это такой вид проектирования любой задачи, которое направлено на описание и объяснение изменений информации в условиях, которые гипотетически отражают это изменение.

и приборами для поверхностного монтажа SMD (surface mount device) для диапазона 5G (рис. 3).

Адекватное инструментальное средство САПР и тесное партнерство с поставщиками услуг кремниевого завода могут сократить время разработки и потенциальные затраты на схемы со сконцентрированными элементами на основе тонкопленочных IPD (например фильтры). Ключевым моментом здесь является наличие проверенного на практике имитатора электромагнитного поля излучения, который может не только генерировать точные модели PDK для целей оптимизации схематического уровня, но и моделировать весь фильтр, включая даже корпус.

Отмечается, что фирма Xpeedic хорошо интегрирована в китайскую экосистему (рис. 4). При этом наблюдается тенденция роста использования тонкопленочных IPD, в том числе производителями 5G-приборов и систем. Способность Xpeedic быстро проектировать и поставлять IPD-фильтры фирмам-производителям входных каскадов радиомодулей позволила ей создать несколько «победных конструкций»^{*}. Геополитическая напряженность между США и Китаем еще больше ускоряет процесс внедрения тонкопленочных IPD фирмы Xpeedic в экосистему Китая, при этом внутренняя цепочка поставок является частью данного уравнения.

Надо отметить, что китайская экосистема очень динамична и разнообразна. В отличие от западной экосистемы и экосистемы Юго-Восточной Азии, где крупные компании, такие как Skyworks, Qorvo и Murata, имеют полную цепочку поставок и возможность проектирования фильтров для производства своих собственных входных каскадов радиомодулей, китайская экосистема очень сегментирована на множество относительно небольших, но быстрорастущих игроков, которым

требуется для удовлетворения своих потребностей в фильтрах сотрудничество с компаниями, подобными Xpeedic [6].

БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПОСТАВЩИКОВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ IPD

В сегменте тонкопленочных IPD используются различные бизнес-модели и существуют различные ожидания, связанные со сложной цепочкой поставок. Тонкопленочные IPD имеют большое число применений (круг которых расширяется) и высокий потенциал во многих областях. Это, в сочетании с широким спектром решений, создает диверсифицированную цепочку поставок – в зависимости от целевого конечного приложения.

В реальности это разнообразие еще более сложно, учитывая различные типы производителей и их бизнес-модели: «чистые» изготовители пассивных компонентов, фирмы, специализирующиеся на аутсорсинговых услугах по сборке и тестированию полупроводниковых приборов (OSAT), традиционные вертикально-интегрированные производители полупроводниковых приборов (IDM), кремниевые заводы и т. д. Таким образом, в сегменте тонкопленочных IPD могут быть задействованы многие типы производителей, но с различными ресурсами и целями.

IDM/кремниевые заводы используют технологию тонкопленочных IPD в качестве опции для придания своим предложениям большей законченности и повышения их привлекательности для клиентов. Акцент делается не на том, чтобы сделать направление тонкопленочных IPD чистым бизнесом, а на том, чтобы использовать для повышения добавленной стоимости собственной продукции. Наиболее показательным примером является TSMC, продвигающая свои развязывающие конденсаторы с целью большей экономии площади и повышения эффективности процессоров корпорации Apple – решение, которое открыло двери для применения тонкопленочных IPD в больших объемах для передовых приложений.

OSAT имеют аналогичный подход с точки зрения приоритета и продвижения, но с различными возможностями интеграции. Большинство OSAT имеют в своем портфеле предложения по тонкопленочным IPD и реализуют их по запросу клиентов. Их решения являются либо более стандартизированными, либо поставляются «чистыми» игроками для последующей интеграции в корпуса / модули.

«Чистые» игроки, такие как фирма IPDiA (недавно поглощена корпорацией Murata), по определению, настаивают на распространении решений тонкопленочных IPD. Эти решения должны убеждать клиентов в жизненной важности внедрения пассивных компонентов в процессы интеграции. Для того чтобы это произошло,

* Design win – «победная конструкция», «конструкция-победитель» – термин, описывающий продукт (комплектующий элемент конечной системы), встроенный в модель продаж другой компании по итогам конкурса / отбора с точки зрения архитектурных и / или производственных показателей. В некоторых случаях, принятая на стадии планирования «победная конструкция» может повлиять на архитектуру конечной электронной системы, в которой она используется. С точки зрения лицензирования, термин «победная конструкция» может описывать ситуацию, когда лицензированный потребитель начинает развитие серийного производства изделий (комплектующих), использующихся в конечной продукции, чьи начальные продажи оказываются чрезвычайно успешными. Тем не менее, «победная конструкция» (на уровне оценки) на стадии ее проектирования и доводки не означает автоматического перехода к массовому производству, но является критически важным шагом в процессе освоения массового производства.



Рис. 4. Место IPD-платформы фирмы Xpeedic в китайской экосистеме.
Источник: Xpeedic

тонкопленочные IPD должны рассматриваться либо как легко передаваемый на аутсорсинг товар, либо как дифференцирующий фактор, оправдывающий новые поставки. В обоих случаях требуется устойчивое развитие, к которому стремятся «чистые» игроки... [4].

* * *

В среднесрочной перспективе (до 2025–2026 гг.) CAGR продаж тонкопленочных IPD будут в 1,5 раза превышать аналогичный показатель рынка пассивных электронных компонентов в целом (по заказным тонкопленочным радио IPD превышение в два раза). Опережающие темпы роста обусловлены расширяющимся использованием тонкопленочных IPD в 5G-телефонах, автомобильной и частично потребительской электронике. При этом наблюдается дальнейшая диверсификация конечных применений тонкопленочных IPD.

Главное преимущество тонкопленочных IPD – возможности миниатюризации за счет интеграции. Это позволяет снижать размеры конечных применений и / или улучшать их эксплуатационные характеристики.

Как во многих других секторах полупроводниковой промышленности, в сегменте тонкопленочных IPD наблюдается исчерпание возможностей планарных архитектур. По ряду конечных применений все большее распространение получают 3D-архитектуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Passive Electronic Components Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021–2026) // Research and Markets. ID: 5185245. April 2021. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5185245/passive-electronic-components-market-growth#rela3-5005555>
2. Passive Electronic Components Market – Growth, Trends, Covid-19 impact and Forecasts (2021–2026) //

- Mordor Intelligence. March 2021. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/passive-elctronic-components-market>
3. **Dennis M. Zogbi.** Raw Materials or Passive Components: June 2019 Outlook // TTI Inc. 2019. November 07. <https://www.ttiinc.com/content/ttiinc/en/resources/marketeye/categories/passives/me-zogbi-20190711.html>
4. Driven by miniaturization, higher performance, and lower cost, IPD market is showing great business opportunities // Yole Développement. 2018. February. http://www.yole.fr/Thin_Film_IPD_ApplicationsOverview.aspx#.YLSQs6Fn2M8
5. Integrated Passive devices (IPD) offer great opportunities in Smartphone Market // Electronics Media. 2018. February 13. <https://www.electronicmedia.info/2018/02/13/integrated-passive-devices-ipd-offer-great-opportunities-smartphone-market/>
6. **Feng Ling.** IPD platforms – A new approach to passives in RF front-end modules – An interview with Xpeedic // i-Micronews. 2021. January 21. [https://www.i-micronews.com/ipd-platforms-a-new-approach-to-passives-in-rf-front-end-modules-an-interview-with-xpeedic/\(Endnotes\)](https://www.i-micronews.com/ipd-platforms-a-new-approach-to-passives-in-rf-front-end-modules-an-interview-with-xpeedic/(Endnotes))

ООО "Руднев-Шляев"

Разработка и производство:

- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru
adc@rudshel.ru