



ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА АЛМАЗНОЙ ПОДЛОЖКЕ DIAMOND RF™ КОМПАНИИ SMITHS INTERCONNECT

Иван Завалин, elmeh@ptelectronics.ru

В предлагаемой статье речь пойдет о применении современных мощных высокочастотных резисторов и ограничениях при эксплуатации обычных мощных резисторов. Примеры практических решений, описанные в статье, базируются на использовании мощных резистивных элементов Diamond Rf™ компании EMC Technology (входящей в состав Smiths Interconnect) в виде резисторов, оконечных согласованных нагрузок и аттенюаторов. Эти компоненты демонстрируют высокие электрические и тепловые характеристики благодаря уникальной теплопроводности алмазной подложки, выполненной по технологии CVD (Chemical vapor deposition — химическое парофазное осаждение). Использование алмазной подложки приводит к уменьшению физического размера компонента при сохранении высокой заданной рассеиваемой мощности. Компоненты, изготовленные по этой технологии, также характеризуются более низкими паразитными эффектами. Электрические и физические свойства алмазной подложки оказывают влияние не только на электрические параметры созданных на них резисторов, но и на конструкцию таких конечных устройств, как делитель/сумматор мощности Уилкинсона, дуплексор на сдвоенных циркуляторах, установленных в цепях обратной связи для высокочастотных усилителей мощности.

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Обеспечение эффективного отвода тепла в резистивных радиочастотных и микроволновых компонентах всегда было проблемой для инженеров-разработчиков. Тонкопленочный резистор, для которого необходимо рассеять большое количество тепла, требует подложки с высокой теплопроводностью, что является основным условием его эффективной передачи в теплоотводящий радиатор. В течение нескольких десятилетий при изготовлении подложек для высокочастотных резисторов большой мощности применялись оксид бериллия (BeO) и нитрид алюминия (AlN). Эти керамические материалы имеют относительно высокую теплопроводность, однако с ростом требований к миниатюризации их возможности уже исчерпаны, и выполненные на их основе резистивные элементы больше не отвечают современным стандартам. Это заставляет конструкторов искать альтернативные способы рассеивания тепла с небольшой площади поверхности. Таким образом, возникает потребность в создании новых методов формирования несущих подложек компонентов. Именно с этой целью и была разработана и успешно применена технология химического парофазного осаждения синтетических



алмазов второго типа, в результате чего получен материал с теплопроводностью, в восемь раз превышающей аналогичный показатель нитрид-алюминиевых подложек.

Искусственный алмаз, полученный по технологии парофазного осаждения, — тот же кристаллический материал, состоящий лишь из углерода. Благодаря способу получения и свойствам этого материала из него можно формировать подложку с образованием на ней необходимых электрических схем. Например, резисторы могут быть получены напылением на осажденную алмазную подложку нитрида тантала (TaN). Алмаз известен высокой механической прочностью, но ключевой особенностью в данном случае является высокая теплопроводность, которая позволяет применять технологию CVD для создания подложек высокочастотных резистивных компонентов. В таблице 1 приводятся сравнительные характеристики подложек на основе существующих технологий. Хорошие высокочастотные свойства и тепловые характеристики делают подложки на основе алмаза удачным выбором для создания тонкопленочных резистивных компонентов (рис. 1), предназначенных для применения в ответственных и высоконадежных при-

ложениях, таких как космическая аппаратура и оборудование структуры беспроводной связи.

ПОКАЗАТЕЛЬ ЕМКОСТИ НА ВАТТ МОЩНОСТИ И ЕГО РОЛЬ

Высокая теплопроводность алмаза позволяет в восемь раз снизить площадь подложки для рассеивания такого же количества тепла по сравнению с подложкой из нитрида алюминия. Физический размер мощного высокочастотного резистора напрямую связан с теплопроводностью подложки, соответственно, подложка с хорошей теплопроводностью позволяет уменьшить и площадь компонента. Для разработчиков СВЧ-устройств большие габаритные размеры компонентов несут в себе две проблемы: увеличение площади печатной платы и ограничение верхней рабочей частоты паразитной емкостью (в том числе из-за собственной емкости резистивного элемента). Повышение собственной емкости резистора вызвано увеличением площади виртуального конденсатора, образуемого параллельными обкладками резистивной пленки и плоскостью заземления. Для оценки этой величины используется критерий «емкость на ватт рассеиваемой мощности». Для



Рис. 1.
Резистивные компоненты EMC Technology

Таблица 1.
Тепловые и частотные характеристики материалов

МАТЕРИАЛ	ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, Вт/см ² С	ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ	ТАНГЕНС УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
Al ₂ O ₃	0,26	9,5	0,0004
AlN	1,70	8,9	0,0005
BeO	2,65	6,5	0,004
CVD	16	5,6	0,0005

двух резисторов, имеющих одинаковую мощность, более низкий показатель емкости на ватт приведет к увеличению рабочего частотного диапазона. Этот показатель является одним из ключевых при выборе типа резистора для построения систем с широкополосными частотными характеристиками.

Наглядно проиллюстрировать важность низкого значения емкости на ватт можно, рассмотрев использование для оконечной нагрузки трех одинаковых номиналов 50 Ом чип-резисторов, предназначенных для рассеивания 120 Вт мощности и имеющих разный материал подложки:

Таблица 2.
Характеристики чип-резисторов

ТИП РЕЗИСТОРА	МАТЕРИАЛ ПОДЛОЖКИ	ТОЛЩИНА ПОДЛОЖКИ, ММ	ДЛИНА, ММ	ШИРИНА, ММ	ПЛОЩАДЬ, ММ ²	ЕМКОСТЬ НА ВАТТ, ПФ/ВТ
СТ1310D	CVD алмаз	0,381	1,73	1,73	3	0,003
82-3031	BeO	1,016	4,06	3,3	13,4	0,007
82-7176	AlN	1,016	5,84	3,05	17,8	0,012

- СТ1310D (CVD-алмаз, 50 Ом);
- 82-3031 (BeO, 50 Ом);
- 82-7176 (AlN, 50 Ом).

Характеристики тонкопленочных резисторов приведены в таблице 2.

Для высокочастотных цепей более низкий показатель емкости на ватт дает существенные преимущества, главное из которых в том, что благодаря этому поддерживается более высокая рабочая частота. На рис. 2 продемонстрирована зависимость КСВН трех рассматриваемых чип-резисторов. Для большей наглядности отмечены частоты, на которых величина КСВН принимает пороговое значение 1,25. Из графика видно, что для чип-резистора на алмазной подложке пороговое значение КСВН достигается на частоте 12,24 ГГц.

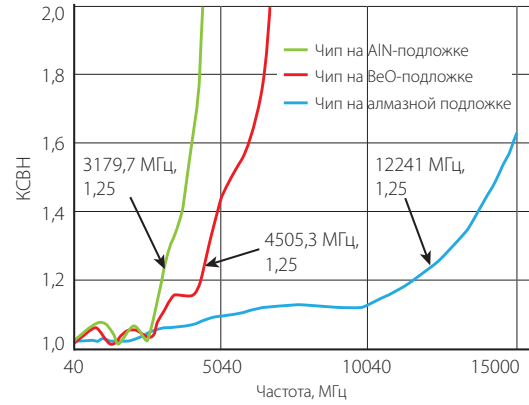


Рис. 2.
КСВН чип-резисторов

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ СЕМЕЙСТВА DIAMOND RF™ КОМПАНИИ EMC TECHNOLOGY

Благодаря преимуществам резистивных компонентов, выполненных на алмазной подложке, они позволяют решать некоторые проблемы проектирования в таких приложениях, как сумматоры/делители Уилкинсона, схемы антенной развязки, цепи обратной связи в ВЧ-усилителях мощности.

На рис. 3 показан однокаскадный сумматор/делитель Уилкинсона. Особенность такой схемы заключается в необходимости резистора для развязки между портами. На этом резисторе может рассеиваться большая мощность.

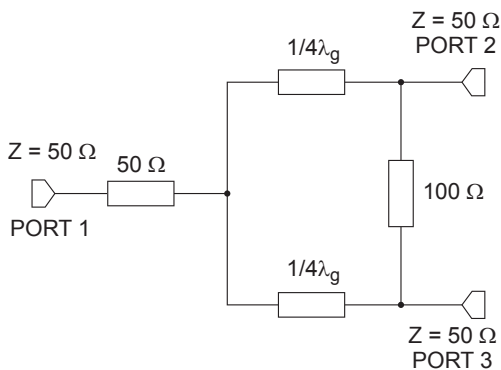
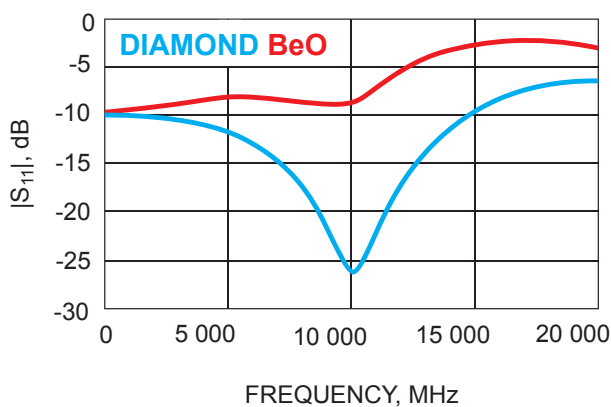
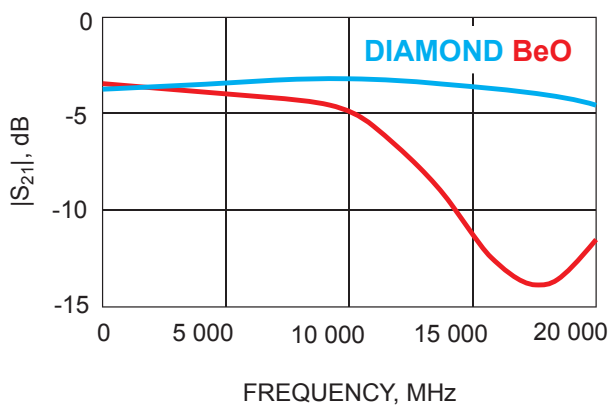


Рис. 3.
Сумматор/делитель Уилкинсона

При заданной номинальной мощности резистор на алмазной подложке может быть значительно меньше по габаритам, чем резисторы на традиционных подложках. На рис. 4 видно, что резистор на BeO-подложке имеет худшие значения характеристик S_{21} и S_{11} — это связано с более высокой собственной емкостью. Для компенсации реактивной составляющей от использования резистора с BeO-подложкой потре-

Рис. 4.
а) S_{21} -параметр;
б) S_{11} -параметр чип-резисторов



буется компенсирующая настройка, приводящая к уменьшению полосы пропускания сумматора и усложнению воспроизводимости в условиях серийного производства.

Другим применением высокочастотных резистивных компонентов является схема дуплекера на сдвоенных циркуляторах. Большинство схем приемопередатчиков требует наличия такого дуплекера для переключения между принимающим и передающим режимами. Часто дуплексер объединен со схемой развязки, призванной изолировать чувствительный вход приемника от перекрестных помех, вызванных мощными передающими сигналами. Для обеспечения такой развязки на уровне до 50 дБ применяют схему дуплекера на сдвоенных циркуляторах, представленную на рис. 5. При таком включении вся мощность, изолирующаяся от передатчика, должна поглощаться 50-Ом оконечной нагрузкой. Оконечная нагрузка должна быть способна принять и рассеять максимальную мощность передатчика за вычетом потерь в циркуляторе. В большинстве мощных передатчиков пиковые уровни могут быть достаточно высокими. Использование резистора на алмазной подложке в качестве оконечной нагрузки обеспечивает более компактный размер, а следовательно, и меньшую паразитную емкость, что позволяет уменьшить габариты дуплекера и улучшить согласование схемы, тем самым сократив риск выхода из строя приемопередатчика. В некоторых случаях оконечная нагрузка также может быть заменена 20- или 30-дБ аттенюатором. При этом аттенюатор должен выдерживать работу с наихудшей отраженной мощностью. Применение подложки из CVD-алмаза предусматривает уменьшение размера аттенюатора до 14 раз.

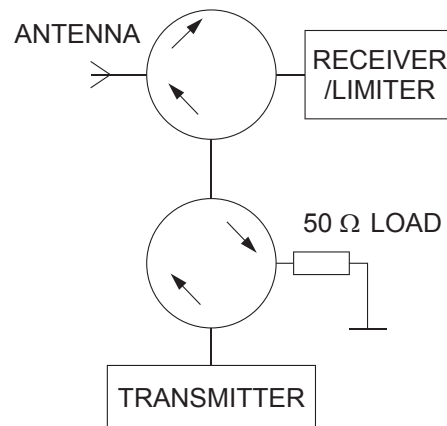


Рис. 5.
Дуплексер



Рис. 6.
Усилитель
мощности на
FET-транзисторе
с петлей ООС

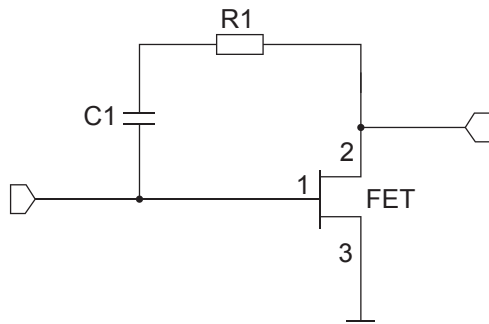


Схема еще одного применения резистивных компонентов приведена на рис. 6. Беспроводные приложения имеют тенденцию занимать несколько частотных диапазонов, соответственно их усилители мощности должны столь же эффективно работать на широкой полосе частот. Для обеспечения такой полосы требуется организация устойчивой петли отрицательной обратной связи (ООС). ООС обеспечивает линейность коэффициента усиления на основном участке полосы пропускания. Конструкция подобных усилителей для повышения мощности рассеивания требует разделения сопротивления ООС на двух резисторах. Применение резисторов на алмазной подложке позволяет

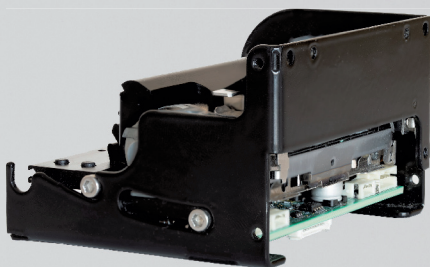
уменьшить габаритные размеры таких усилителей весьма значительно благодаря большей эффективности рассеивания мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Требования современного оборудования инфраструктуры беспроводных систем связи оказывают влияние даже на самые простые из пассивных компонентов — резисторы. Такие компоненты должны рассеивать большую мощность при меньших габаритах и охватывать работу на более высоких частотах. Семейство Diamond Rf™ является проверенным решением в части серийно выпускаемых резистивных компонентов для высокочастотных применений, которые представляют собой высокоэффективное решение для современных беспроводных систем связи, где требуются компоненты, способные работать на больших мощностях в широком диапазоне частот.



ТЕРМОПРИНТЕР FUJITSU EDITION 60G/80G – НОВЫЙ УРОВЕНЬ ЭРГОНОМИЧНОСТИ



всего
43,5 мм!

FUJITSU

		EDITION 60G	EDITION 80G
⊕-⊖	mm	58.0 / 60.0	80.0
⌚	mm/s	220	
⚡	VDC	24.0	
⚙️	E	Резчик полный/частичный	
🔄	E	RS232 & USB	
📏	g	325	380
🌡️	°C	-20 / +70	

Единый телефон: 8-800-333-63-50
info@ptelectronics.ru
www.ptelectronics.ru



pt ELECTRONICS
Innovations & Technologies