

УДК 621.3.049.75:537.226

**ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ СВЧ-ПЛАТ**

Айрат Илдусович Рахмятуллин

Студент 4 курса, бакалавриат,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,  
старший преподаватель кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

**Введение**

Стремительное развитие и распространение беспроводных локальных сетей, высокоскоростного телекоммуникационного сетевого оборудования, а также электрических мобильных устройств, привело к увеличению спроса на более высокие частоты и более высокие скорости передачи данных.

**Диэлектрические характеристики**

Для высокоскоростных СВЧ-плат (3–30 ГГц), такие параметры, как относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_r$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg(\delta)$  базовых материалов, становятся крайне важными характеристиками для правильного функционирования, так как они имеют непосредственное влияние на ослабление и времени задержки сигнала. Известно, что значение удельных диэлектрических потерь определяется по формуле:

$$\rho = E^2 \cdot (f \cdot \epsilon_r \cdot tg(\delta)) / 1,8 \cdot 10^{10}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельные диэлектрические потери, Вт/м<sup>3</sup>;

$E$  – напряженность приложенного электрического поля, В/м;

$f$  – частота сигнала, Гц;

$\epsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость;

$\delta$  – угол диэлектрических потерь, градусы;

Формула (1) показывает, что диэлектрические потери и, соответственно, ослабление сигнала, прямо пропорциональны значениям  $\epsilon_r$  и  $tg(\delta)$ . Материалы, обладающими низкими значениями данных параметров, являются более предпочтительными для применения в СВЧ-платах.

**Тефлон**

Одним из материалов, используемых в качестве диэлектрического основания СВЧ-плат, является политетрафторэтилен (PTFE или тефлон). Тефлон, по сравнению с традиционным для производства печатных плат стеклотекстолитом, обладает низкими и стабильными значениями относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_r = 1,8 - 2,2$ ) и тангенсом угла диэлектрических потерь ( $tg(\delta) = 0,001$ ) на широком диапазоне частот и температур [1], а также низким влагопоглощением, что является крайне важным показателем, так как значения диэлектрической проницаемости воды может составлять порядка 80. Присутствие даже незначительного количества воды в объеме может ухудшить важные для СВЧ свойства диэлектрика. Однако работа с тефлоном связана с рядом трудностей, таких как высокое значение коэффициента температурного расширения по оси Z, высокая химическая инертность, сложности с механической

обработкой, что делает изготовление печатных плат на его основе дорогостоящим, а материал нетехнологичным.

### **Керамика**

СВЧ-платы также могут быть реализованы с использованием LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) керамики. Материал также обладает стабильными диэлектрическими характеристиками, однако основным преимуществом керамики является крайне высокая теплостойкость и теплопроводность, что делает ее незаменимой в мощных и теплонагруженных СВЧ-платах. Специфика LTCC керамики требует подхода к изготовлению плат, отличного от традиционных с использованием фольгированных диэлектриков. Большие значения усадок керамики в процессе отжига делают затруднительным реализацию печатных плат больших габаритов с высокой точностью геометрии. Данный факт ограничивает область применения LTCC керамики изделиями небольших габаритов.

### **Жидкокристаллический полимер**

Одним из относительно новых материалов, способных выступить в качестве альтернативы перечисленным выше СВЧ диэлектрикам, являются ЖКП (жидкокристаллические полимеры). ЖКП представляет собой термопластический полимер, структура которого состоит из жестких и гибких мономеров, связанных друг с другом. Жидкокристаллическое состояние часто называют мезофазным, так как оно является термически стабильным состоянием, занимающим промежуточное положение между аморфным и кристаллическим [2]. При течении в жидкокристаллическом состоянии жесткие сегменты молекул выстраиваются рядом друг с другом в направлении сдвигового потока. Как только эта ориентация сформирована, их направление и структура сохраняются, даже когда ЖКП охлаждается ниже температуры плавления.

В диапазоне частот от 1 до 35 ГГц относительная диэлектрическая проницаемость ЖКП составляет около 3. Значение тангенса диэлектрических потерь ЖКП находится ниже 0,0045 [3]. Одновременно с этим высокая влагостойкость позволяет полимеру сохранять свои диэлектрические свойства в среде с повышенной влажностью. Также ЖКП является огнеупорным материалом, обладает высокой радиационной стойкостью, и практически нулевой усадкой. Ведущими производителями жидкокристаллических полимеров являются компании Ticona, DuPont и Rogers.

Одним из преимуществ использования неармированного термопластического полимера в качестве диэлектрического основания печатной платы является возможность формирования многослойной структуры печатных плат методом послойного наращивания. Данная технология позволяет существенно увеличить плотность топологии проводящего рисунка, а также уменьшить габариты платы, что отвечает современным тенденциям к микроминиатюризации.

Технологический процесс изготовления печатных плат на основе ЖКП во многом схож с классическими, однако характеристики ЖКП требуют подбора новых режимов обработки на разных этапах производственного маршрута. В частности, этапы очистки, активация поверхности и прессование слоев ЖКП обладают рядом особенностей.

### **Подготовка поверхности ЖКП**

Высокая химическая инертность, характерная для данного материала, создает трудности с очисткой просверленных в ЖКП отверстий, и развитием поверхности перед металлизацией. Традиционные химические методы (перманганатная очистка и очистка с использованием гидроксида калия) малоэффективны. С данной задачей справляется плазменная очистка. Было выявлено, что с развитием поверхности перед металлизацией лучше всего справляется плазма  $N_2 + H_2$ , при этом лишь немногим уступая плазме  $CF_4 + O_4$  в скорости очистки отверстий [4].

### **Прессование ЖКП**

Операция прессования ЖКП может быть затруднена высокой температурой плавления (около 280°C), что превышает технологические возможности большинства прессов, используемых в типичном производстве печатных плат. Для реализации операции прессования необходим подбор оборудования, способного обеспечить подобную температуру прессования. Дополнительные трудности вызывает резкое изменение механических свойств ЖКП в процессе нагрева. До достижения температуры плавления, ЖКП демонстрирует практически полную механическую стабильность. Однако при приближении к области, близкой к температуре плавления, небольшое увеличение термической нагрузки может вызвать стремительное изменение в характеристиках текучести ЖКП [5]. Оптимальные условия ламинирования требуют чрезвычайно равномерного распределения температуры 285°C по пластинам пресса с максимальным отклонением температурного режима  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

### **Заключение**

В данной работе были рассмотрены основные электрические характеристики, определяющие возможность использования материала в качестве диэлектрического основания СВЧ-платы. Было выяснено, что такие материалы, как политетрафторэтилен и ЛТСС керамика, отличаясь хорошими диэлектрическими и термическими характеристиками, обладают низкой обрабатываемостью, технологичностью, что ограничивает возможную вариативность конструкций плат на их основе. При этом диэлектрик на основе жидкокристаллического полимера, будучи термопластиком, дает возможность формировать СВЧ-платы с большим количеством слоев и высокой плотностью топологии. На основе литературного обзора были предложены рекомендации к режимам и оборудованию на технологических этапах подготовки поверхности и прессования.

### **Литература**

1. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4. Технические условия. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200020654> (дата обращения: 13.03.2021)
2. Шибяев В. П. Жидкокристаллические полимеры //Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №. 6. – С. 40-48.
3. Zou G. et al. Characterization of liquid crystal polymer for high frequency system-in-a-package applications //IEEE Transactions on Advanced Packaging. – 2002. – Т. 25. – №. 4. – С. 503-508.
4. Yung K. C. et al. A study of critical processing technologies of liquid crystal polymer printed circuit board for high speed application //Journal of applied polymer science. – 2010. – Т. 116. – №. 4. – С. 2348-2358.
5. Thompson D. C. Characterization and design of liquid crystal polymer (LCP) based multilayer RF components and packages : дис. – Georgia Institute of Technology, 2006.