

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МОДУЛЯХ СВЧ

В статье рассматриваются преимущества использования сапфира в качестве материала базовой подложки СВЧ-модулей. Проведено сравнение этого перспективного для изделий СВЧ-электроники материала с поликором.

Пассивные компоненты являются неотъемлемой частью любого модуля СВЧ (фильтры, вентили, СВЧ-резисторы, поглотители, аттенюаторы, делители мощности, СВЧ-конденсаторы, СВЧ-индуктивности), к которым предъявляется ряд требований:

- высокий уровень электрических параметров;
- минимальные габариты;
- прочность;
- устойчивость к механическим, температурным, радиационным и др. факторам;
- высокий процент выхода годных изделий;
- низкая стоимость и др.

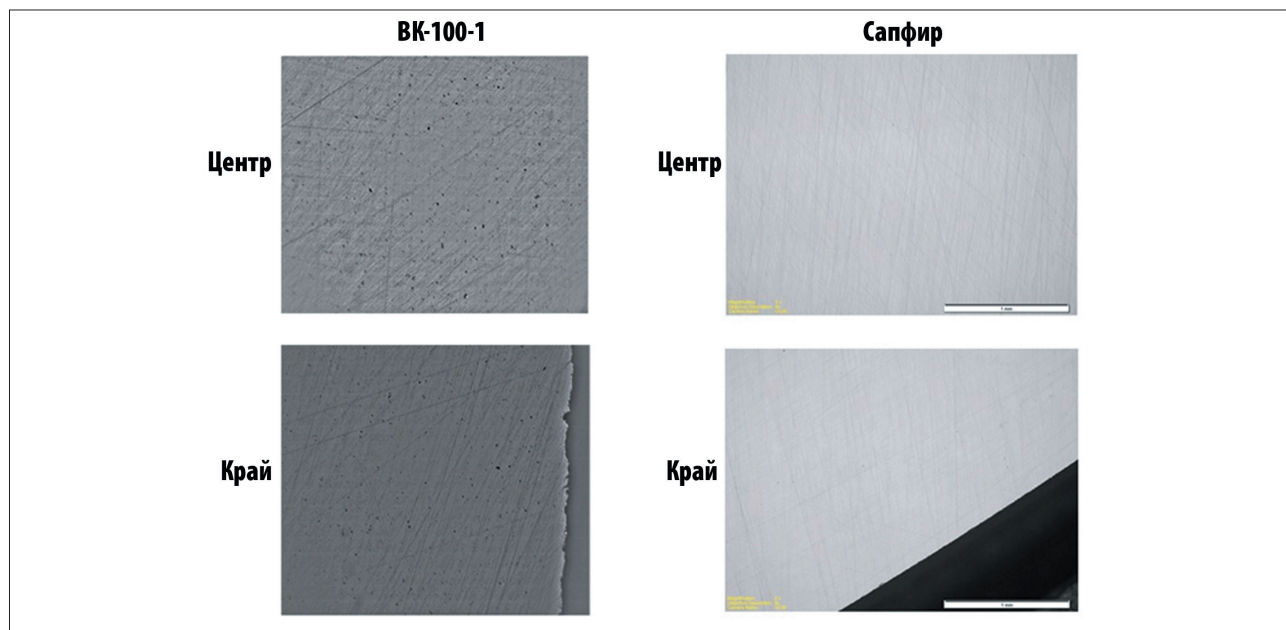
Все вышеперечисленные требования напрямую зависят от характеристик материала базовой подложки модулей СВЧ (керамика, сапфир, кварцевое стекло и др.), подбор которого является сложной задачей для разработчика ввиду лишь частичного соответствия.

В таблице приведены механические, теплофизические и электрические свойства керамической подложки ВК-100,

которая наиболее распространена в настоящее время, и подложки монокристаллического сапфира, применение которого до недавнего времени ограничивалось нехваткой производственных мощностей и высокой стоимостью.

Использование сапфира в качестве базовой подложки возможно в фильтрах на поверхностных акустических волнах (ПАВ), которые находят коммерческое применение в диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц (беспроводные средства радиосвязи). Основным элементом конструкции данных фильтров являются встречно-штыревые электроды, а к отличительным особенностям относят малый вес, габаритные размеры, температурную стабильность, отсутствие необходимости сложной настройки в аппаратуре, а также высокую воспроизводимость и совместимость с текущим полупроводниковым производством.

Ввиду распространения ПАВ вдоль поверхности и проникновения в глубину материала на расстояние 2–3 длины волны, это оказывает существенные нагрузки на подложку. Благодаря физико-механическим свойствам, а также воз-



▲ Рис. 1. Фотографии поверхности подложек поликора ВК-100 и сапфира

Таблица. Сравнительные характеристики подложек сапфира и поликора

Параметр	Поликор ВК-100	Сапфир	Примечание
Плотность, г/см ³	3,96	3,99	ВК-100 — кажущаяся плотность
Предел прочности на изгиб, МПа	320	450	
Шероховатость поверхности, Rz, мкм	0,05	0,005	
Коэффициент линейного расширения, К ⁻¹	8·10 ⁻⁶	5,5·10 ⁻⁶	Перпендикулярно С-оси
		6,6·10 ⁻⁶	Параллельно С-оси
Коэффициент теплопроводности при 298 К, Вт/(м·К)	26–30	30,3	Перпендикулярно С-оси
		32,5	Параллельно С-оси
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	2·10 ¹⁴	1·10 ¹² – 1·10 ¹⁶	
Диэлектрическая проницаемость, ε	9,7 ± 0,25	9,4	Перпендикулярно С-оси
		11,5	Параллельно С-оси
Тангенс угла диэлектрических потерь, tg δ	1·10 ⁻⁴	3,0·10 ⁻⁵	Перпендикулярно С-оси
		8,6·10 ⁻⁵	Параллельно С-оси

возможности обеспечить 14-й класс полировки, оправдан выбор сапфира в качестве базового материала подложки, так как даже небольшое увеличение или уменьшение зазора гребенчатой структуры фильтра приведет к ухудшению его параметров. По сравнению с поликором сапфир более устойчив к механическим воздействиям, имеет меньшее значение коэффициента температурного расширения. Также отличительной особенностью сапфира является отсутствие пор на поверхности (рис. 1), что позволяет повысить воспроизводимость, процент выхода годных изделий и исключить настройку изделия.

Другим важным параметром сапфира по сравнению с поликором является большая диэлектрическая проницаемость — 11,5 и 9,7 соответственно, от которой выигрывают СВЧ-фильтры с точки зрения возможности уменьшения размеров и повышения рабочих характеристик, а меньший тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ (10^{-5}) позволяет снизить потери в полосе пропускания.

Хотя сапфир выращивают уже более 100 лет, полноценно использовать его превосходные физико-химические свойства человечество начало относительно недавно. На сегодня сапфир — незаменимый компонент в швейцарских часах, светодиодах, мобильных устройствах и ряде оптических применений. Перед этим материалом открываются поистине широкие перспективы, и начало использования в СВЧ электронике — новая глава в его интересной истории.

Переход на сапфировые подложки ранее был осложнен рядом препятствий:

- невозможность обеспечения требуемой минимальной толщины подложки;
- недостаточные мощности по производству сапфировых подложек;
- цена на сапфировую подложку многократно превышала цену на поликор.

Компании «Монокристалл», крупнейшему мировому производителю синтетического сапфира, удалось преодолеть вышеуказанные препятствия за счет непрерывного развития технологий выращивания и обработки, а также сокращения издержек. «Монокристалл» успешно решил ряд задач, которые позволят сапфиру заменить поликор в ряде изделий СВЧ-электроники, а именно:

- Разработана и стандартизирована технология массового производства тонких подложек толщиной до 0,15 мм. Имеются технологии лазерной резки, позволяющие производить резку на кристаллы и выполнять сверление сквозных отверстий диаметром 0,1–0,2 мм.
- За последние пять лет четверо увеличен объем производства сапфира, что позволяет предприятию производить до 1 млн подложек в год.
- Удалось в три раза снизить себестоимость сапфира, т. е. его сегодняшняя цена почти сравнялась с ценой поликоровой подложки. ➔