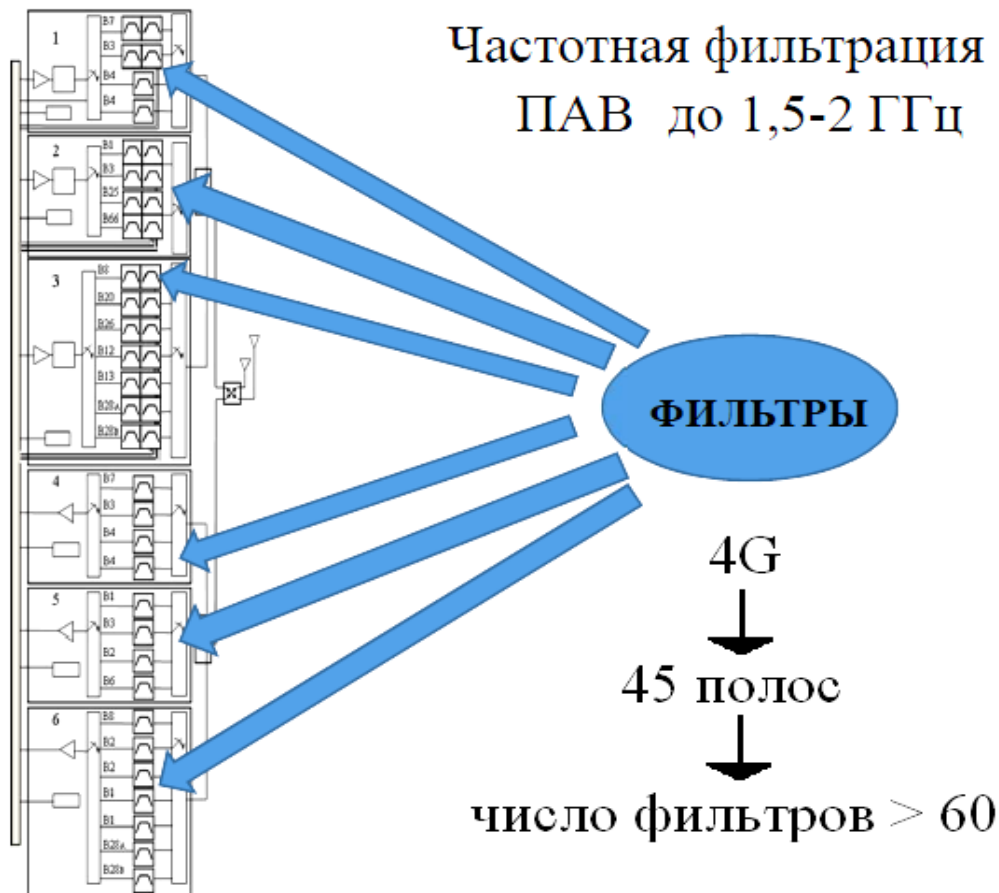


Фильтры на ПАВ в мобильных системах связи стандарта 5G

О.Л. Балышева, ГУАП, Санкт-Петербург
С.А. Доберштейн, АО ОНИИП, Омск

Омск, 2022

Схема РЧМ смартфона стандарта 4G по принципу «одна полоса – один фильтр»



Частотная фильтрация сигналов в мобильных телефонах по технологии ПАВ и ОАВ

Параллельное развитие

ПАВ

f: до 2 ГГц (2,5-3 ГГц)

- «+» более низкая стоимость;
- «+» большой опыт массового производства;
- «+» отработанная техника моделирования

потенциал развития →

ОАВ

f: более 2 ГГц (3-6 ГГц)

- «+» более высокие частоты;
- «+» меньшая чувствительность к температуре

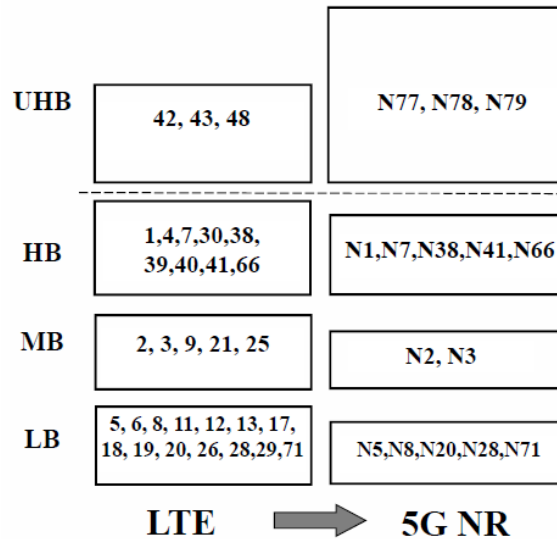
Гибридная ПАВ / ОАВ
технология

Объем мирового рынка ПАВ фильтров:

7436,1 млн. долларов (2020 г) 8720 млн. долларов (2026 г)

Частотный рефарминг при переходе от стандарта LTE в 5G

Частотные полосы стандарта 5G



| 5G NR FR1 Band | Диапазон частот передающего канала (MHz) | Диапазон частот приемного канала (MHz) | Duplex Mode | Bandwidth MHz |
|----------------|--|--|-------------|---------------|
| N1 | 1920-1980 | 2110-2170 | FDD | 60 |
| N2 | 1850-1910 | 1930-1990 | FDD | 60 |
| N3 | 1805-1880 | 1710-1785 | FDD | 75 |
| N5 | 869-894 | 824-849 | FDD | 25 |
| N7 | 2620-2690 | 2500-2579 | FDD | 70 |
| N8 | 925-960 | 880-915 | FDD | 35 |
| N20 | 832-862 | 791-821 | FDD | 30 |
| N28 | 703-748 | 758-803 | FDD | 45 |
| N38 | 2570-2620 | 2570-2620 | TDD | 50 |
| N41 | 2496-2690 | 2496-2690 | TDD | 194 |
| N66 | 1710-1780 | 2110-2200 | FDD | 70/90 |
| N71 | 663-698 | 617-652 | FDD | 35 |
| N77 | 3300-4200 | 3300-4200 | TDD | 900 |
| N78 | 3300-3800 | 3300-3800 | TDD | 500 |
| N79 | 4400-5000 | 4400-5000 | TDD | 600 |
| N81 | 880-915 | N/A | SUL | 35 |
| N83 | 703-748 | N/A | SUL | 45 |

Развитие частотных полос и функций при переходе от 4G к 5G

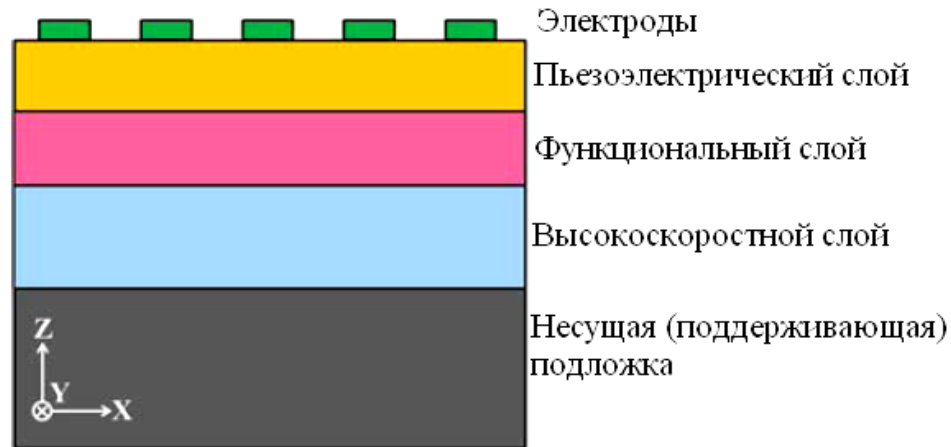
| Характеристика | Стандарт LTE-A | | | Стандарт 5G |
|--|----------------|---------|---------|-------------|
| | 2015 г. | 2017 г. | 2019 г. | 2020 г. |
| Общее число радиочастотных трактов | 14 | 22 | >100 | >300 |
| Максимальное число фильтров, объединенных в одном узле для агрегации несущей | 2 | 6 | 8 | 15 |
| Число спецификаций для удовлетворения стандарту | 2 | 36 | 51 | 74 |
| Максимальная полоса пропускания передающего канала, МГц | 20 | 40 | 60 | 100 |
| Поддерживаемая мощность | 23 дБм | 23 дБм | 26 дБм | 26 дБм |
| Этапы изменения размеров платы | базовая | +25% | +50% | -35% |

Требования к ПАВ-фильтрам для стандарта 5G

- Общая тенденция повышения рабочих частот. Увеличение частот связано с физическим уменьшением резонаторных структур фильтров, что усложняет технологию изготовления при использовании существующих материалов или подразумевает применение новых материалов.
- Повышенные требования к характеристикам. Появляются требования по обеспечению заданных частотных характеристик фильтров по вносимым потерям и избирательности с минимальным влиянием от параллельно включенных соседних фильтров. Изменения выражаются в дифференциации и ужесточении спецификаций фильтров. Например, допуск по частоте для «сложного» фильтра может составлять менее 1%.
- Увеличение полос пропускания. Для поддиапазона N77 $\Delta f/f_0 = 24\%$, для поддиапазона N78 $\Delta f/f_0 = 14\%$, для поддиапазона N79 $\Delta f/f_0 = 12,8\%$, по сравнению с существующими значениями $\Delta f/f_0 = 7,5\%$ для поддиапазона B41 и $\Delta f/f_0 = 4,2\%$ для поддиапазона B40.
- Выдерживание более высокого уровня мощности с переходом от класса 3 (23 дБм) к классу 2 (26 дБм) для полосы B41.
- Миниатюризация и высокая степень интеграции, вызванная уменьшением доступного места на плате. Это связано как с повышением сложности самого РЧМ (увеличение агрегируемых частот и организация двойного подключения), так и уменьшением общего места, отводимого под РЧМ (за счет увеличения количества антенн, размеров аккумуляторной батареи и добавления новых функциональных модулей).
- Переход от полосовых фильтров к мультиплексорам.

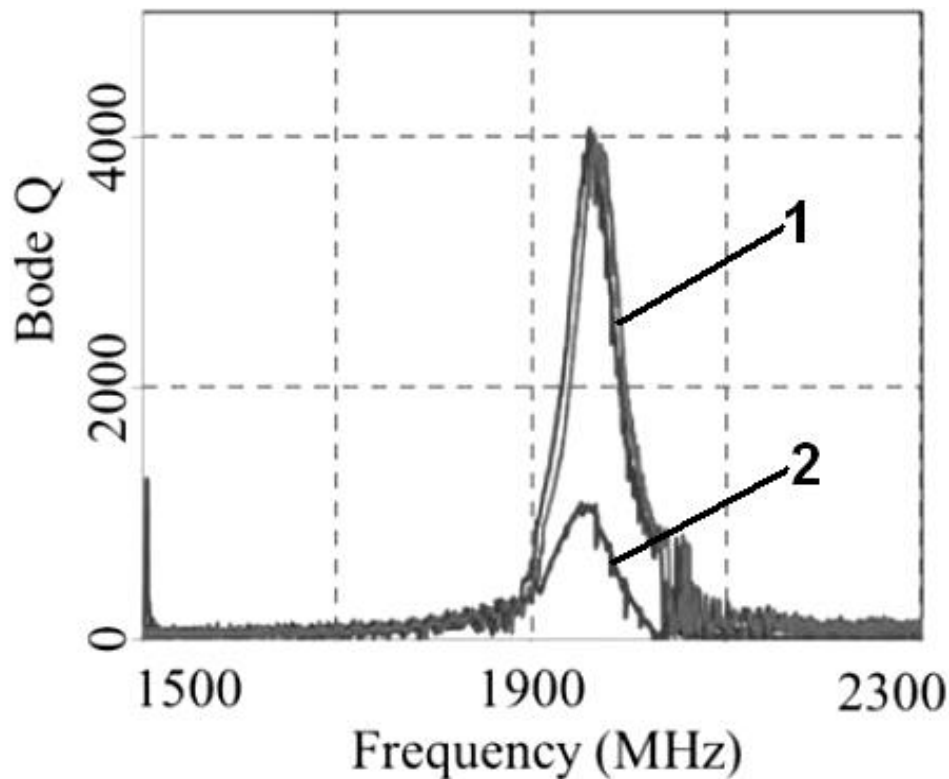
Новые материалы и технологии для ПАВ-фильтров

В настоящее время промышленно освоены ПАВ-фильтры трех типов: стандартные ПАВ-фильтры (1,5-2 ГГц), ПАВ-фильтры с температурной компенсацией (ТК) и ПАВ-фильтры с тонкопленочными структурами TF (Thin Films) (до 2,5 ГГц), и фильтры по технологии ИНР (Incredible High-Performance – «невероятно высокие характеристики») (до 3,5 ГГц).

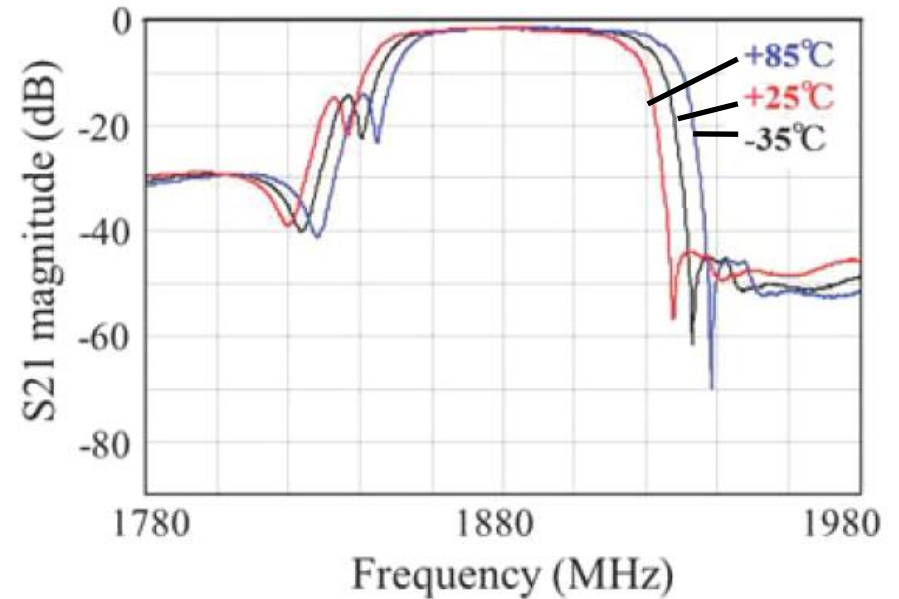
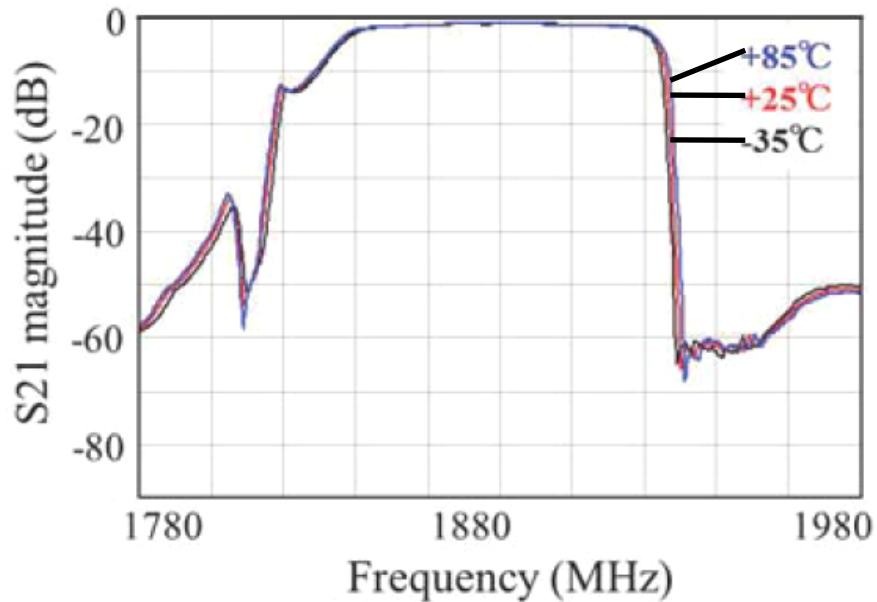


Основная структура подложки ИНР ПАВ-фильтра

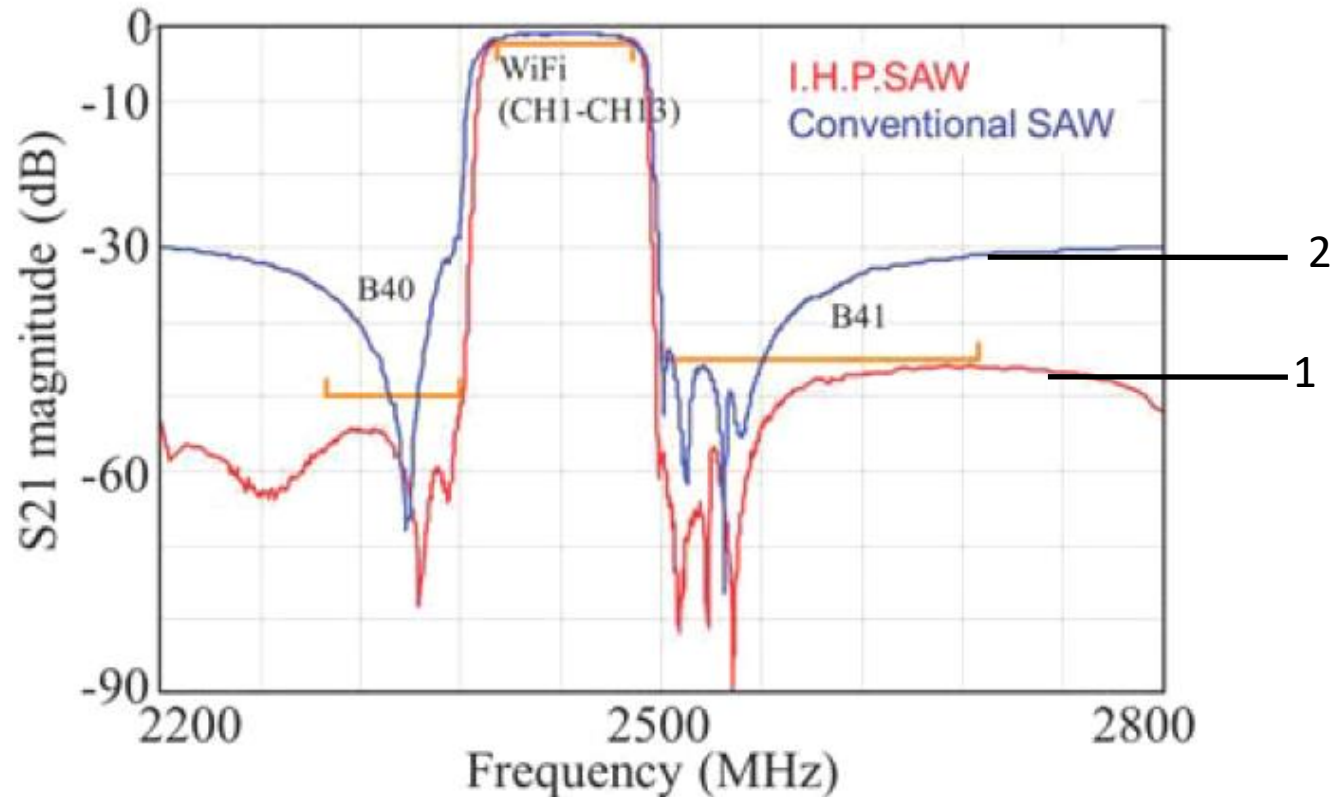
Частотная характеристика Q ПАВ-резонатора по IPR технологии (1) в сравнении с частотной характеристикой Q обычного ПАВ-резонатора на срезе $YX/42^\circ$ LiTaO₃ (2)



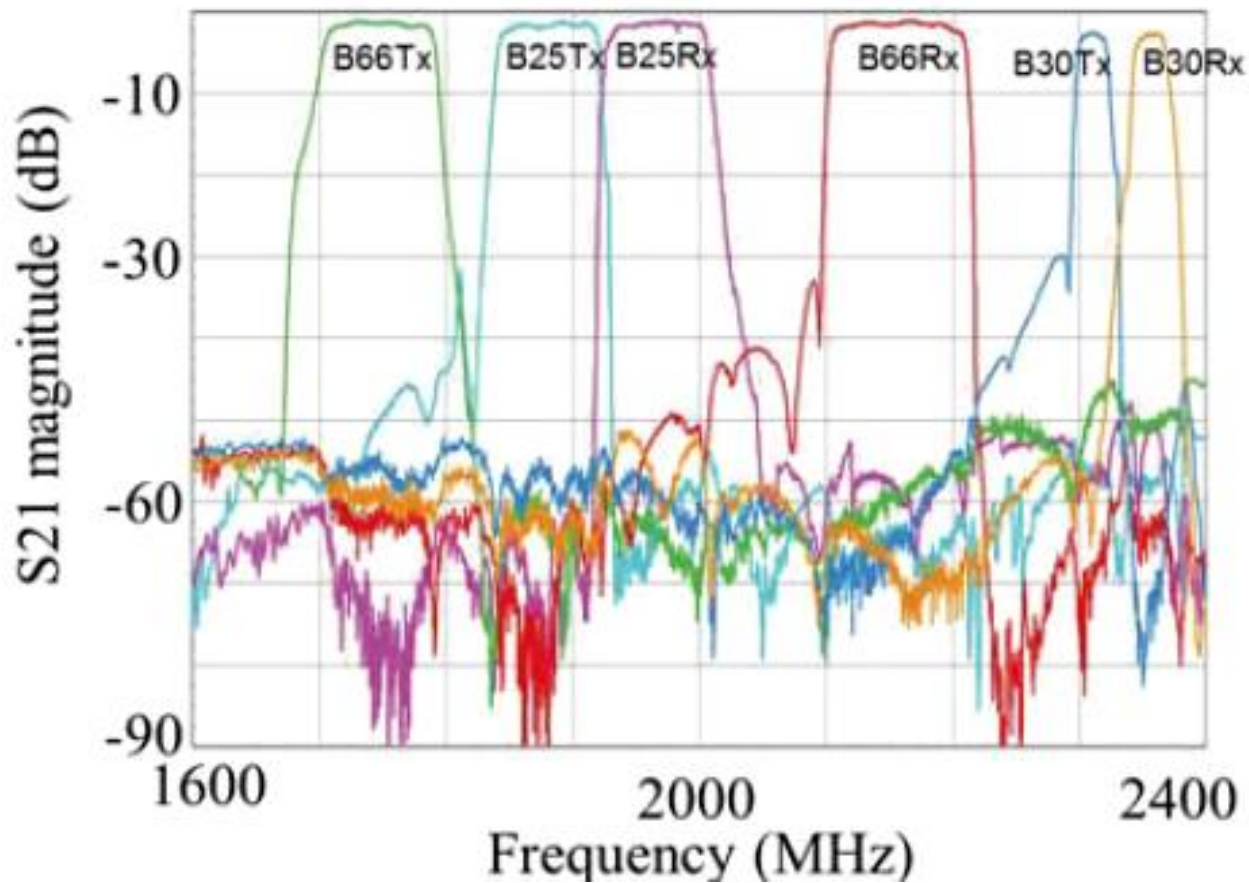
АЧХ ИНР ПАВ-фильтра и обычного ПАВ-фильтра на срезе $YX/42^\circ$ $LiTaO_3$ при изменении температуры



АЧХ Wi-Fi ПАВ-фильтра по технологии ИНР (1) в сравнении с АЧХ обычного ПАВ-фильтра на срезе $YX/42^\circ$ LiTaO₃ (2)

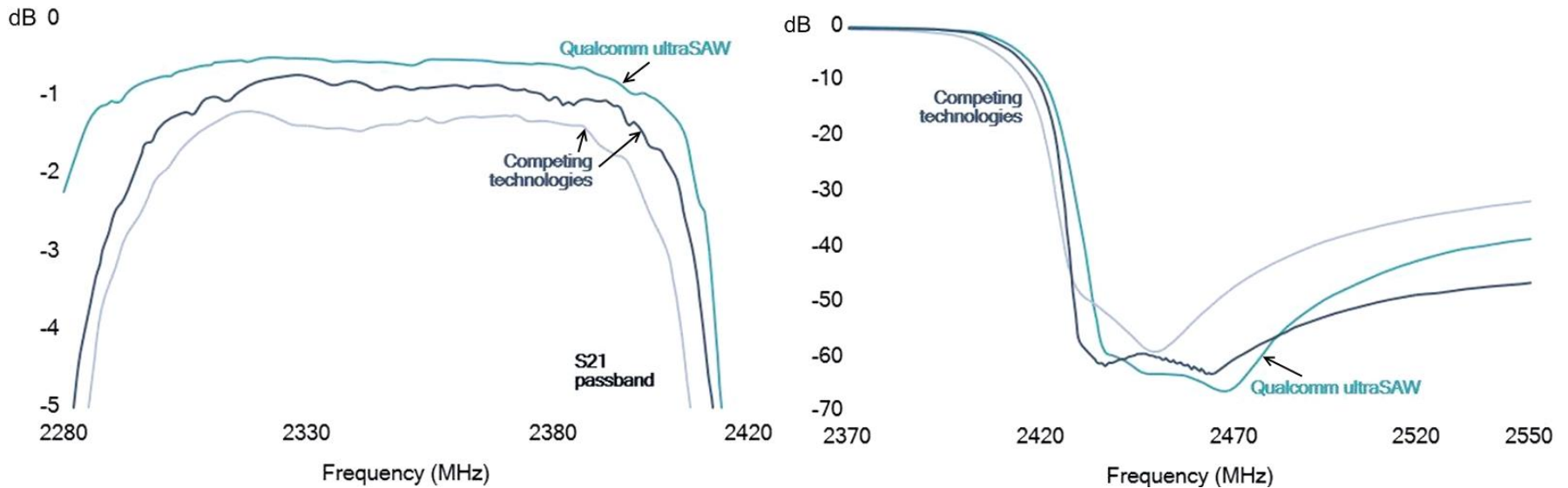


АЧХ гексаплекса на поддиапазоны В25/66/30 с ПАВ-фильтрами по технологии IHP





Структура фильтра ультраПАВ по технологии POI [1]



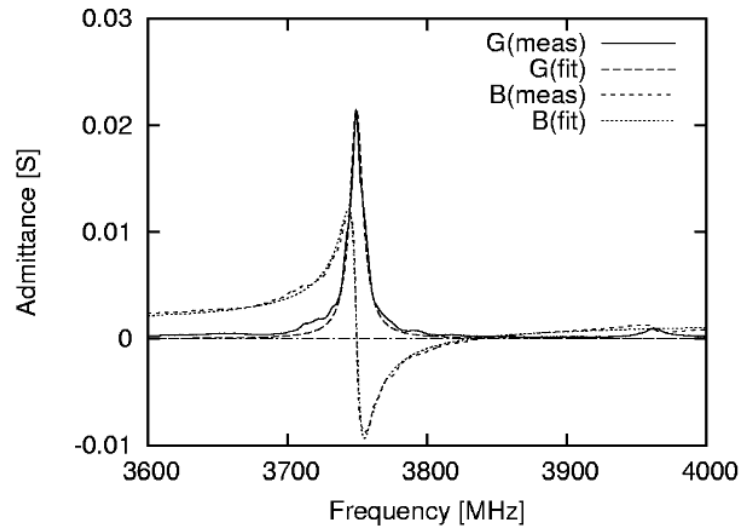
Сравнительные АЧХ фильтров ультраПАВ и традиционных ОАВ-фильтров [2]

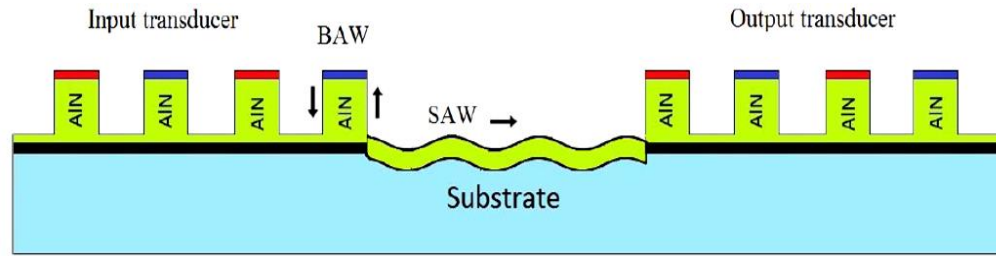
[1] POI Engineered Substrates for RF Front End Module Filters. Addressing 5G filtering challenges. <https://www.soitec.com>

[2] Taylor C. Qualcomm Reveals Details of ultraSAW Filters. <https://www.strategyanalytics.com>

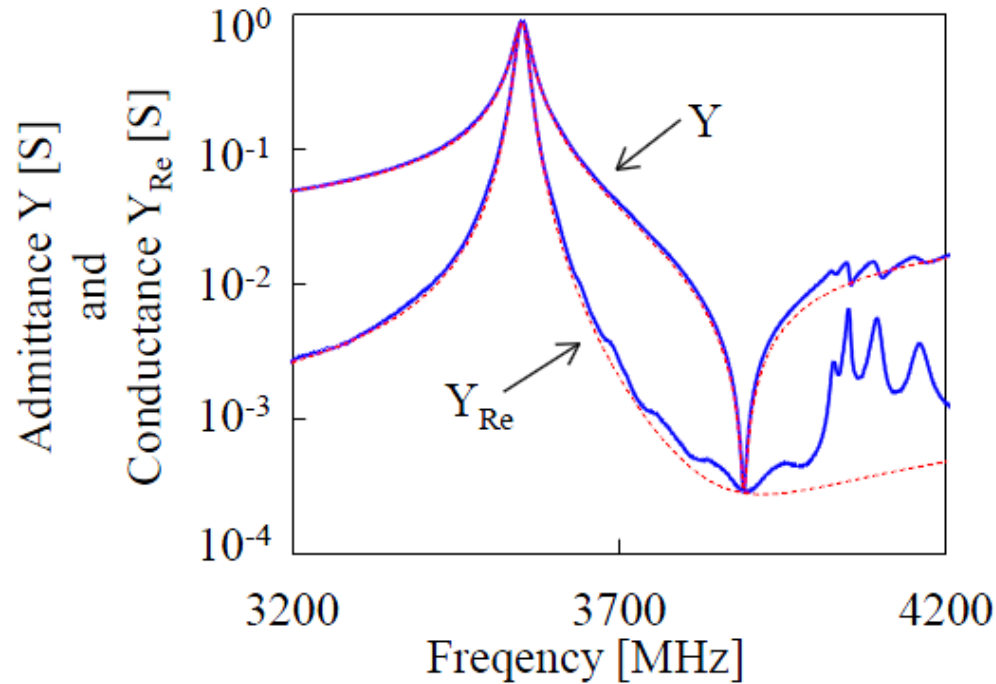
Характеристики ПАВ-резонаторов на основе нитрида алюминия скандия

| Подложка | Рабочая частота f , ГГц | k^2 , % | Добротность Q |
|--|---------------------------|-----------|-----------------|
| $\text{Sc}_{0,18}\text{Al}_{0,82}\text{N}/\text{Si}$ | 3,871 | 5,1 | 315 |
| $\text{Sc}_{0,46}\text{Al}_{0,54}\text{N}/6\text{H-SiC}$ | 3,75 | 4,5 | 340 |
| $\text{Sc}_{(11,8\%)}\text{AlN}/\text{Si}$ | 3,648 | 5,4 | 146 |
| $\text{Sc}_{0,46}\text{Al}_{0,54}\text{N}/\text{алмаз}$ | 3,63 | 6,1 | 520 |





Линия задержки с гибридным ОАВ/ПАВ преобразователем [1]



Частотная характеристика входной и активной части проводимости однопортового резонатора на продольных вытекающих ПАВ [2]

- Pashchenko V. et al., Proc. IEEE Ultrasonics Symposium. 2016.
- Kimura T. et al., Jpn. J. Appl. Phys, 2018, Vol. 57, Issue 7S1.

Заключение

- Поддержание работы в предыдущих стандартах;
- Частотный рефарминг;
- Организация двойного подключения LTE/5G NR



**Массовая потребность в
ПАВ фильтрах !**

- Отличные характеристики, преимущество в стоимости и скорости выхода новых компонентов на массовый рынок;
- Новые материалы и появление инновационных технологий производства;
- Активное продвижение в более высокочастотный диапазон;
- Отсутствие других прорывных технологий



**Сохранение
лидирующих позиций
ПАВ фильтров в
мобильной связи !**