

Первая российская сQED система

Федоров Г.П.

Научные руководители: Рязанов В.В., Шульга К.В.

1 июня 2016 г.

1 О cQED системах

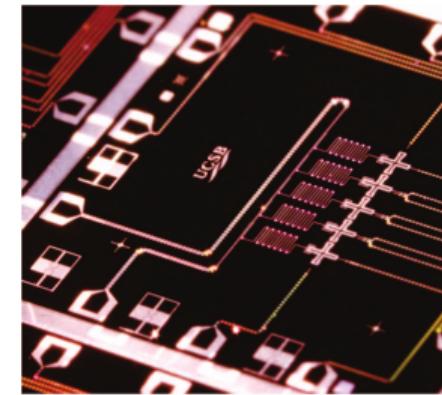
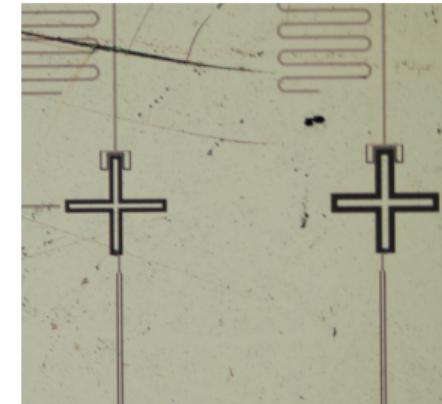
- Общий вид
- Расчет уровней энергии
- Реализация

2 Сверхпроводниковые копланарные резонаторы

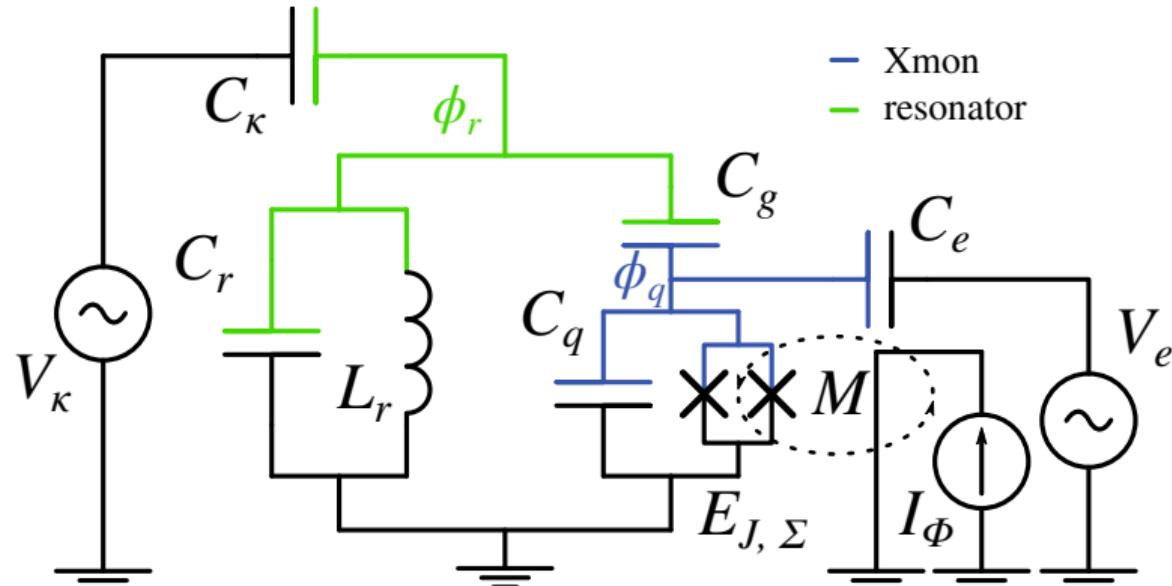
- Дизайн
- Ниобий
- Алюминий (плохой)
- Алюминий (хороший)
- Нитрид ниobia
- Итоги

3 Спектроскопия cQED системы

- Резонаторы
- Квазипересечения
- Двухтоновая спектроскопия
- Многофотонные переходы
- Динамический эффект Штарка

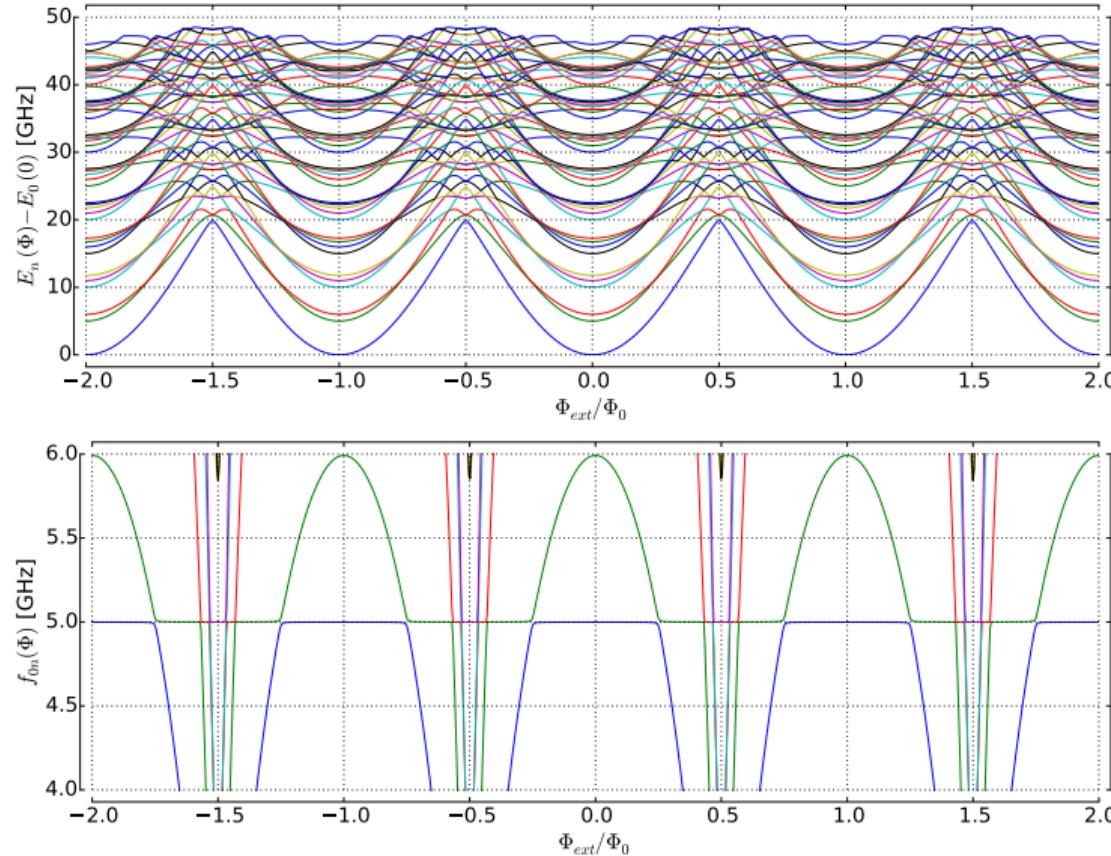


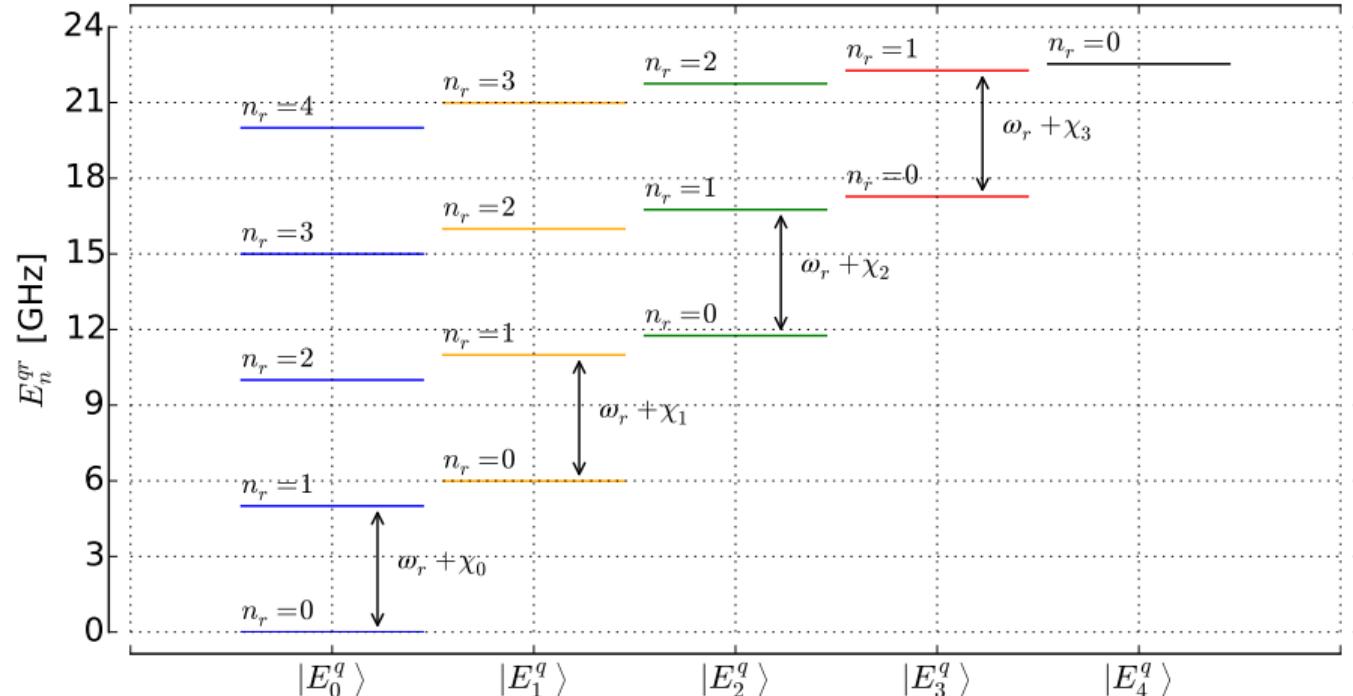
Система состоит из атома и квантового осциллятора (резонатора вблизи одной из его мод):



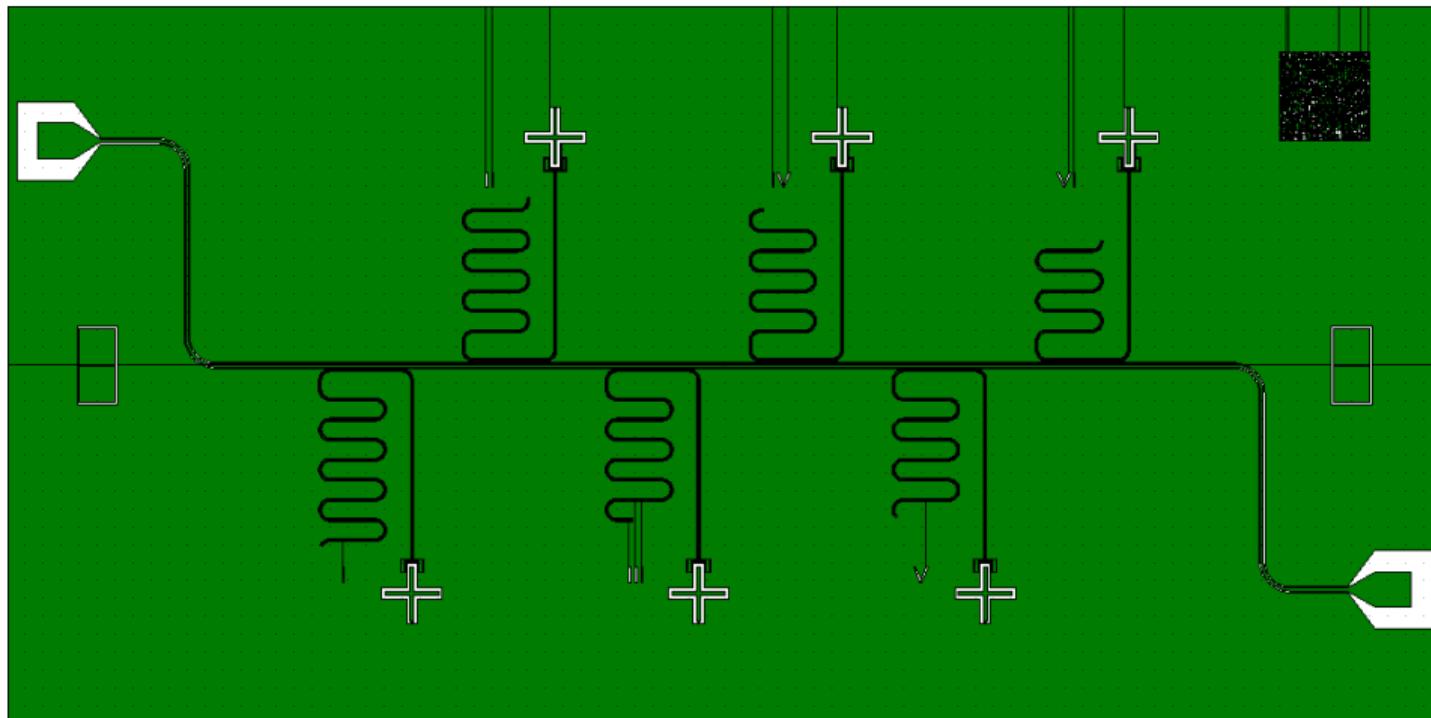
Расчет уровней энергии

о сQED системах

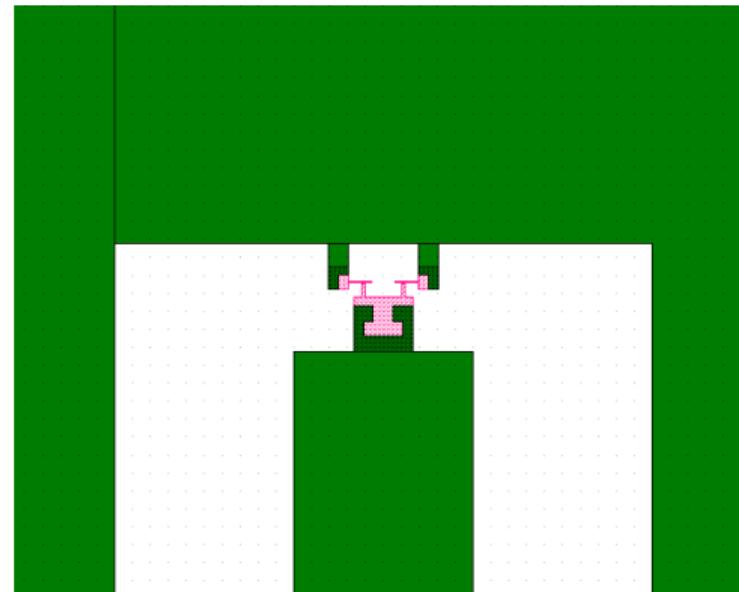
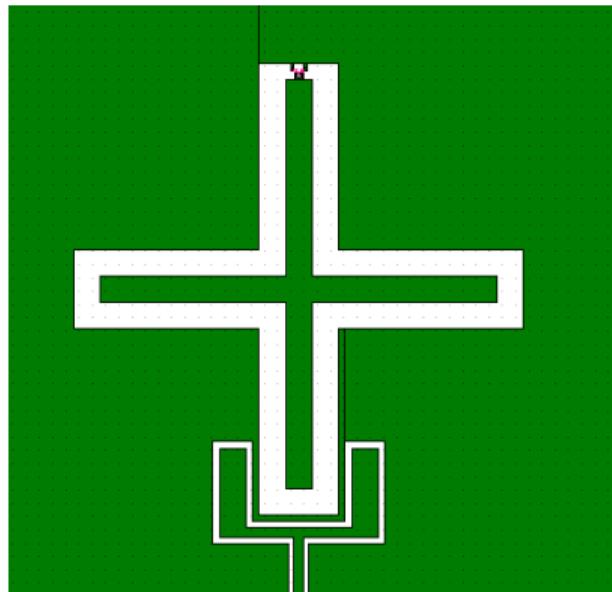




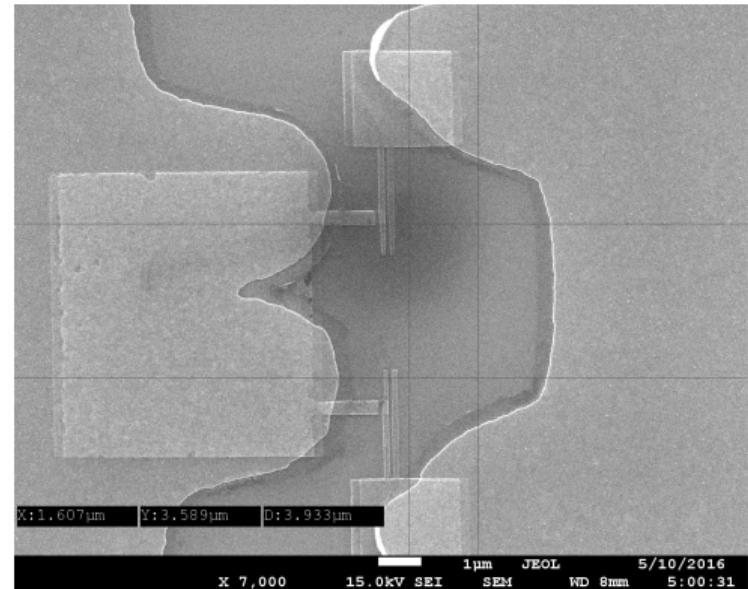
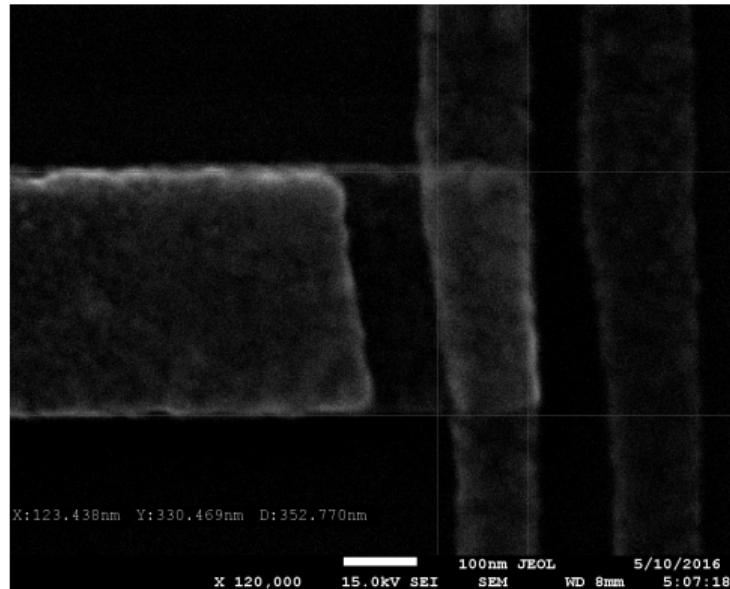
Дизайн (зеленый – металлизация , белый – открытая подложка):



Увеличенное изображение одного из кубитов:



СЭМ-изображения получившихся переходов:



1 О cQED системах

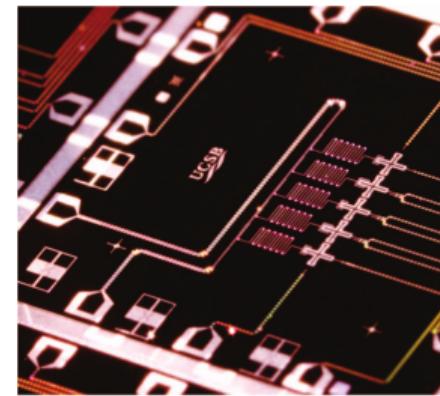
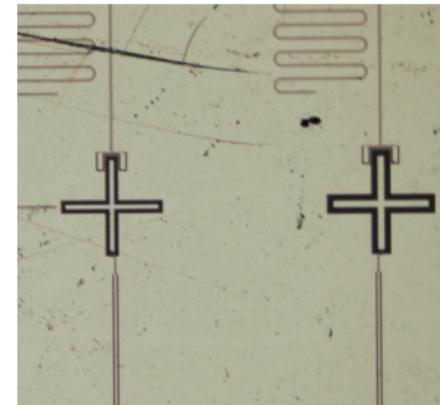
- Общий вид
- Расчет уровней энергии
- Реализация

2 Сверхпроводниковые копланарные резонаторы

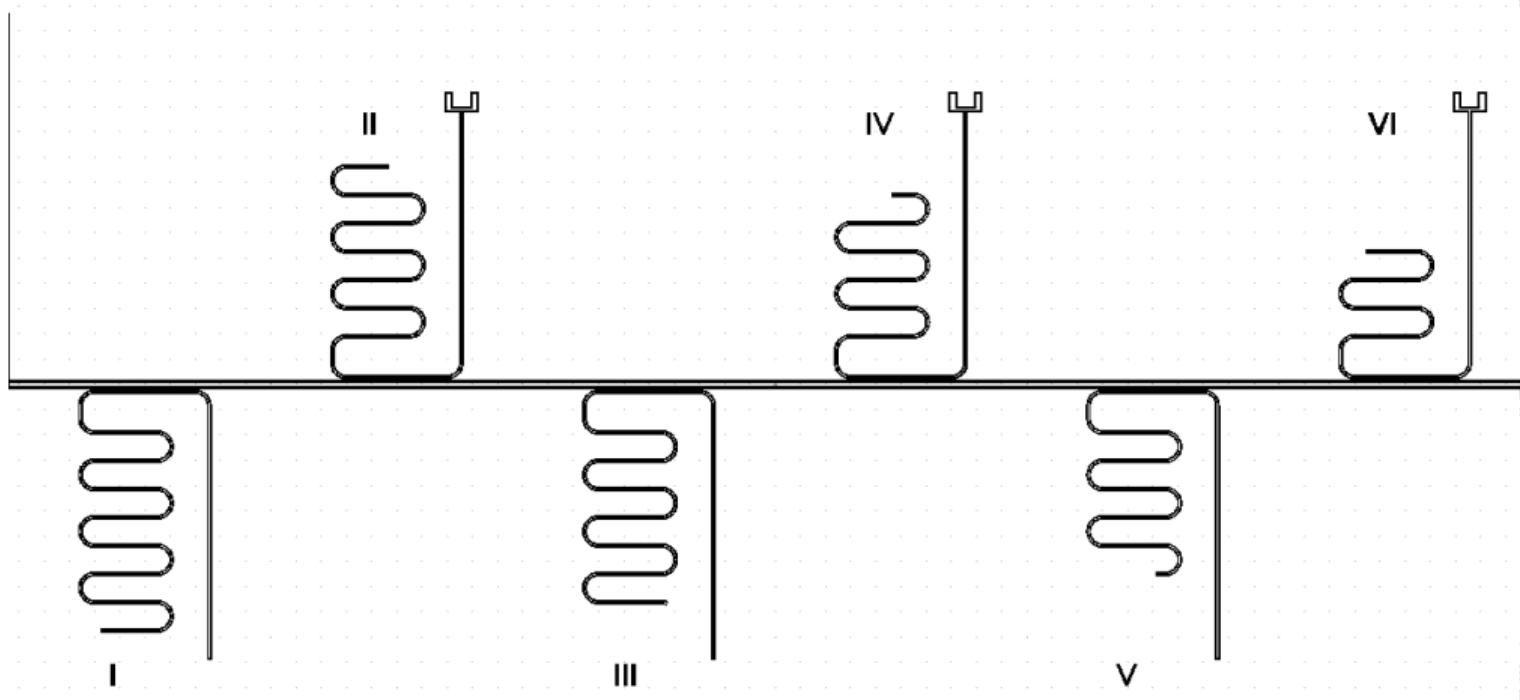
- Дизайн
- Ниобий
- Алюминий (плохой)
- Алюминий (хороший)
- Нитрид ниobia
- Итоги

3 Спектроскопия cQED системы

- Резонаторы
- Квазипересечения
- Двухтоновая спектроскопия
- Многофотонные переходы
- Динамический эффект Штарка

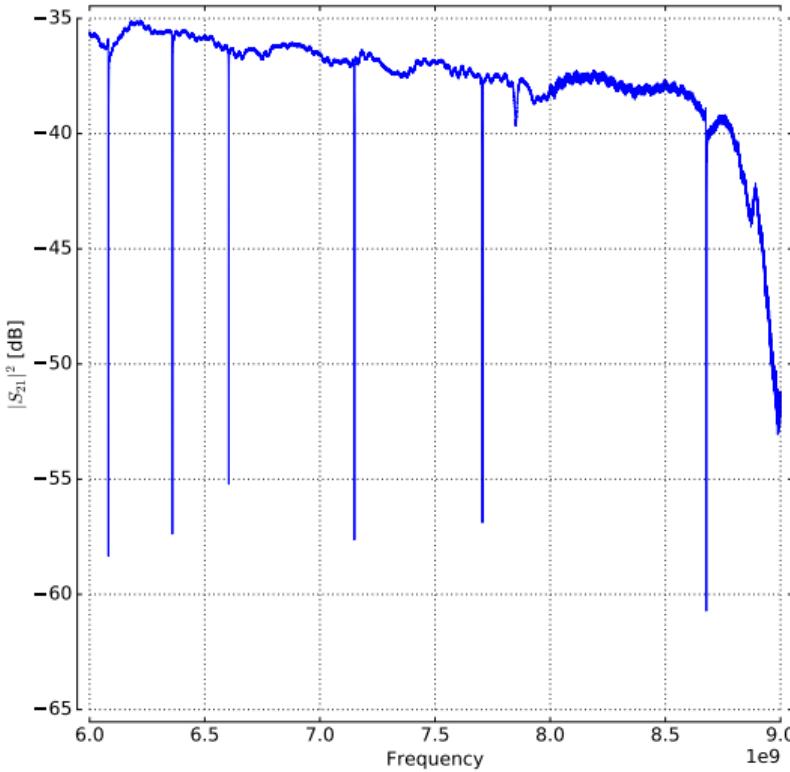
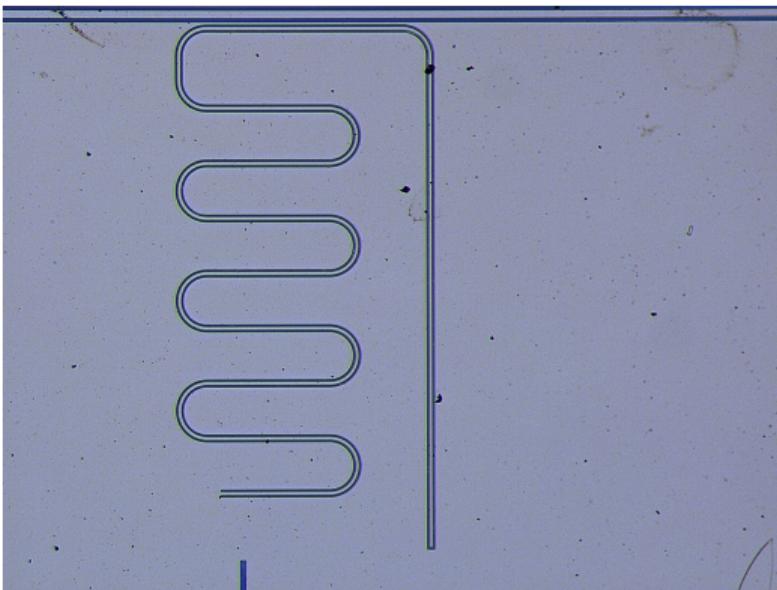


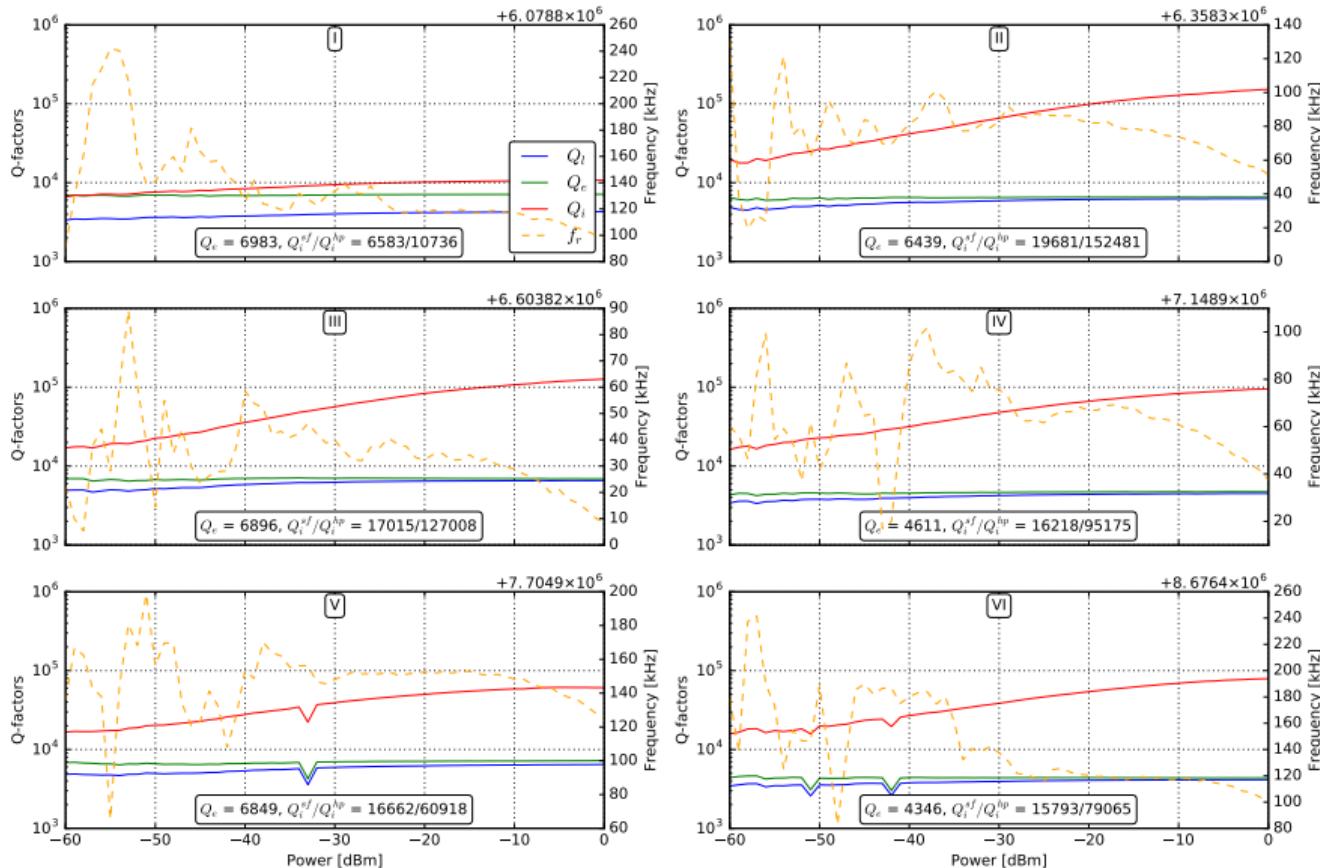
Резонаторы без кубитов:



Подложка: SiO_2 .

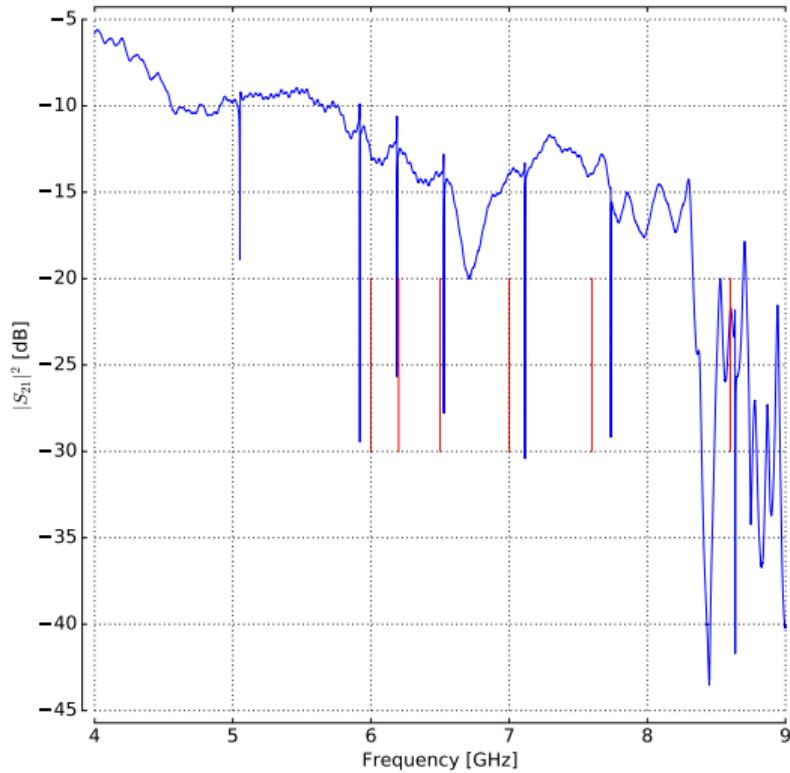
Один из резонаторов (I):

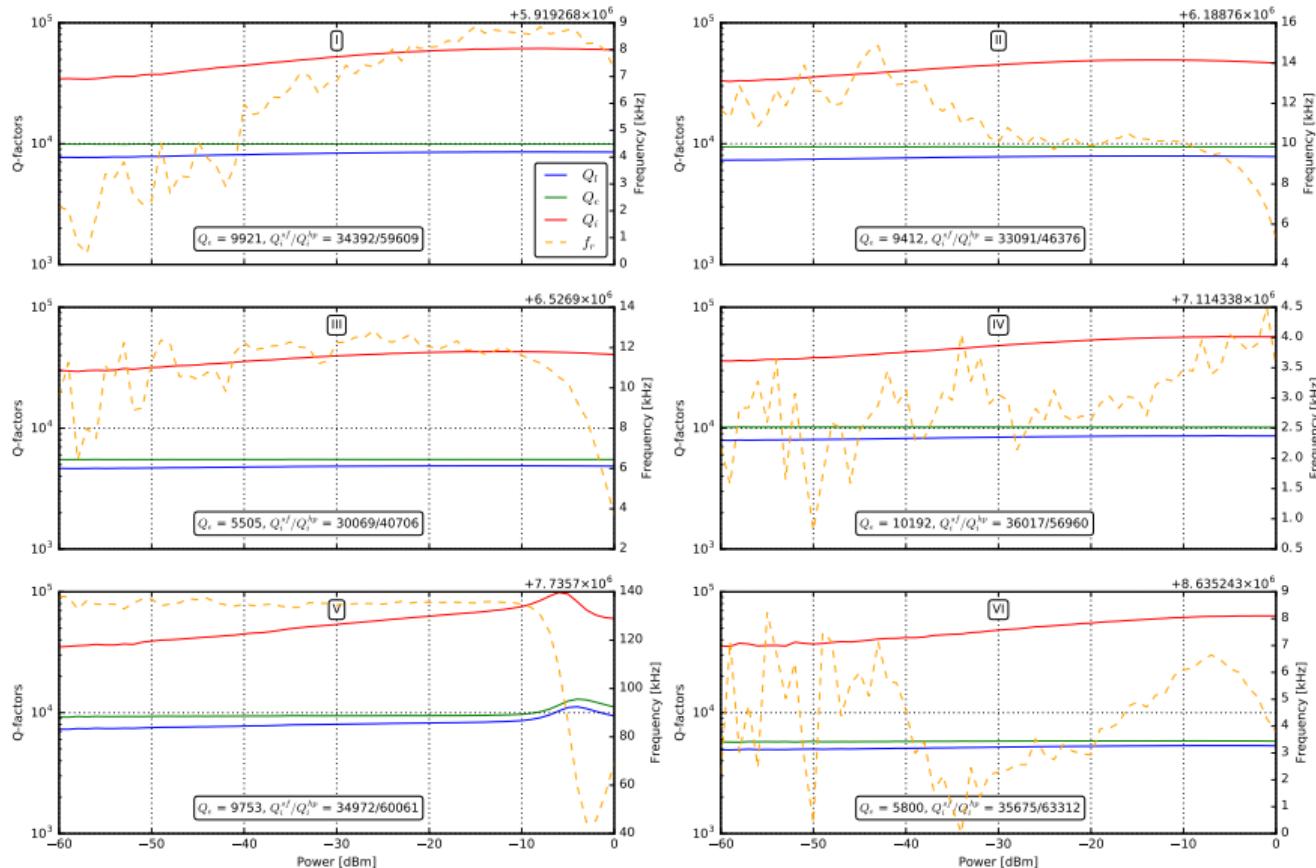




Подложка: высокоомный Si.

Один из резонаторов (I):



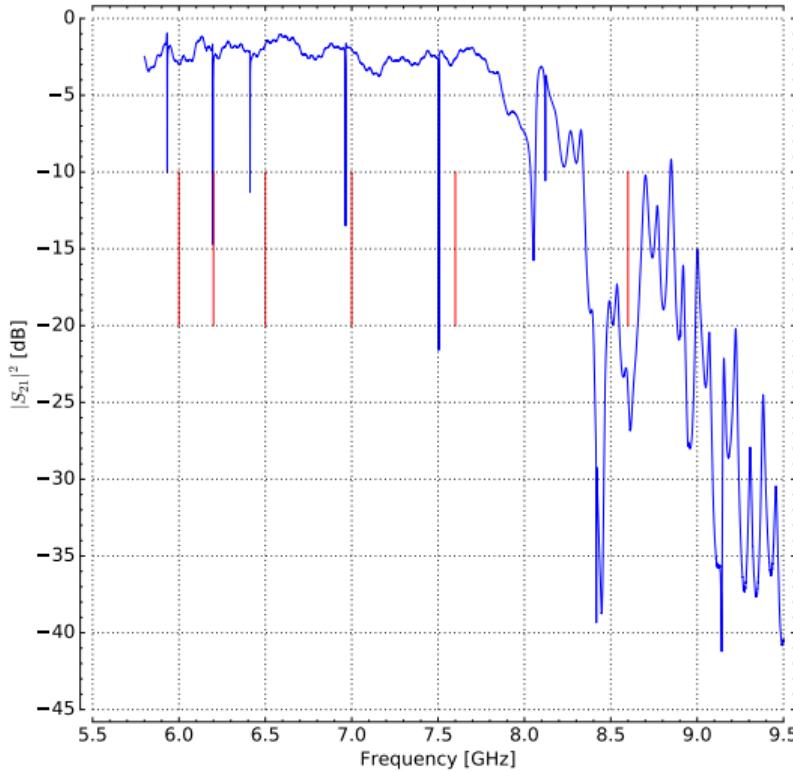
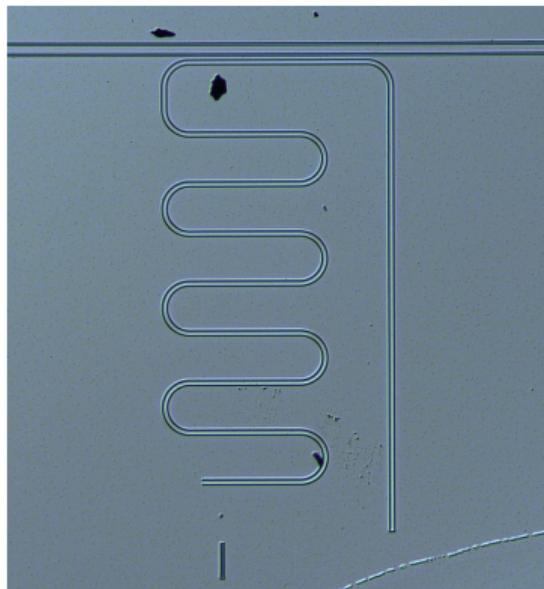


Алюминий (хороший)

Сверхпроводниковые копланарные резонаторы

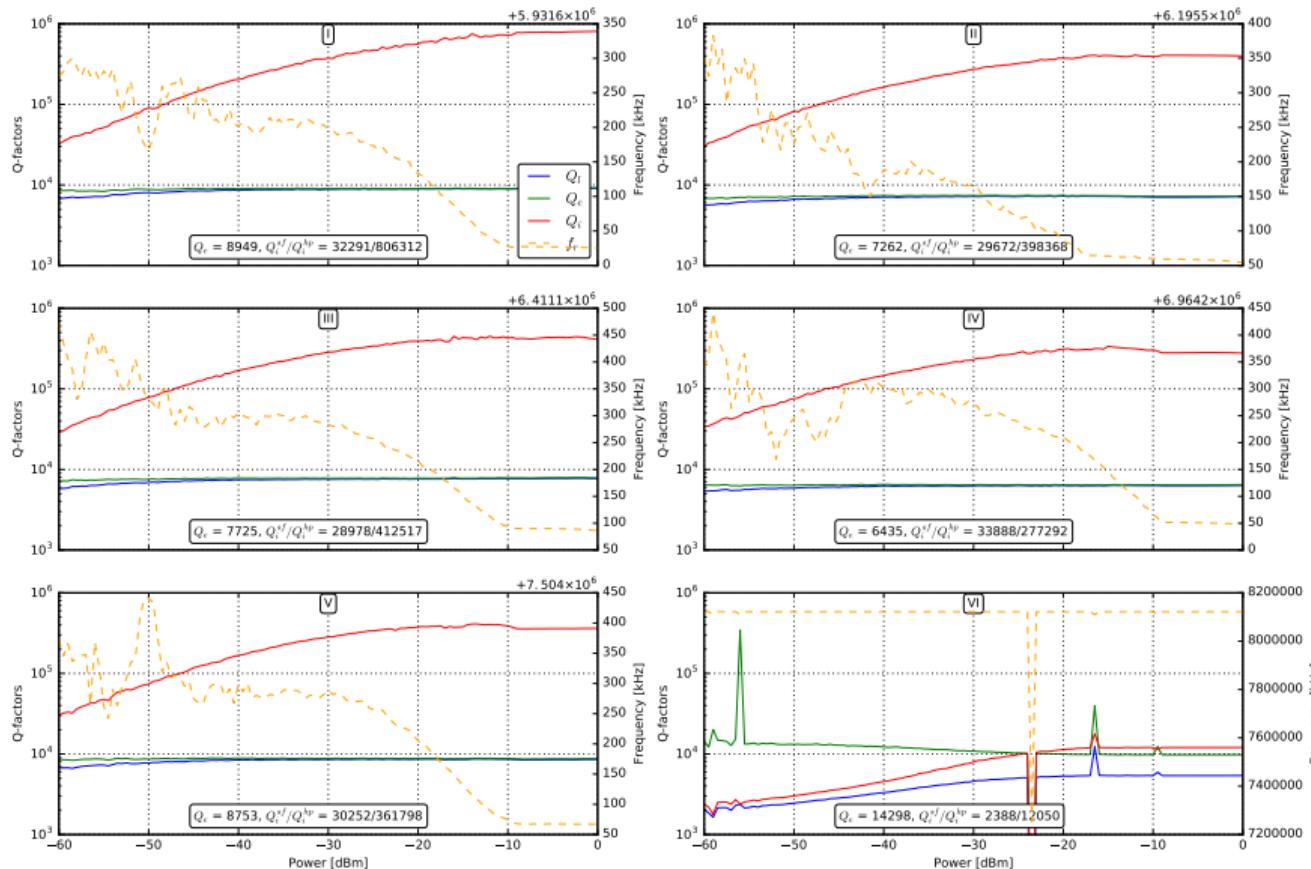
Подложка: высокоомный Si.

Один из резонаторов (I):



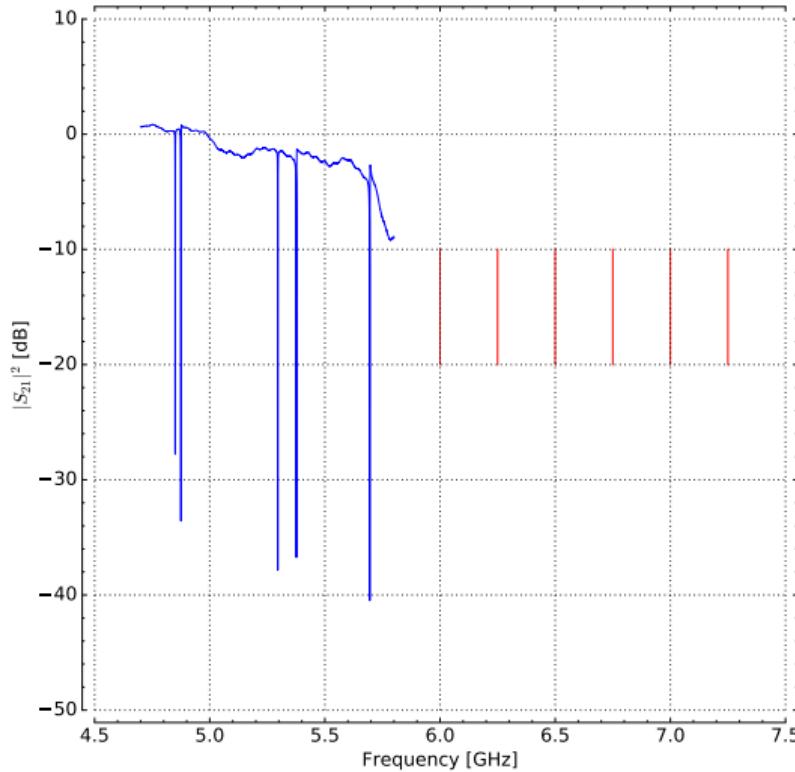
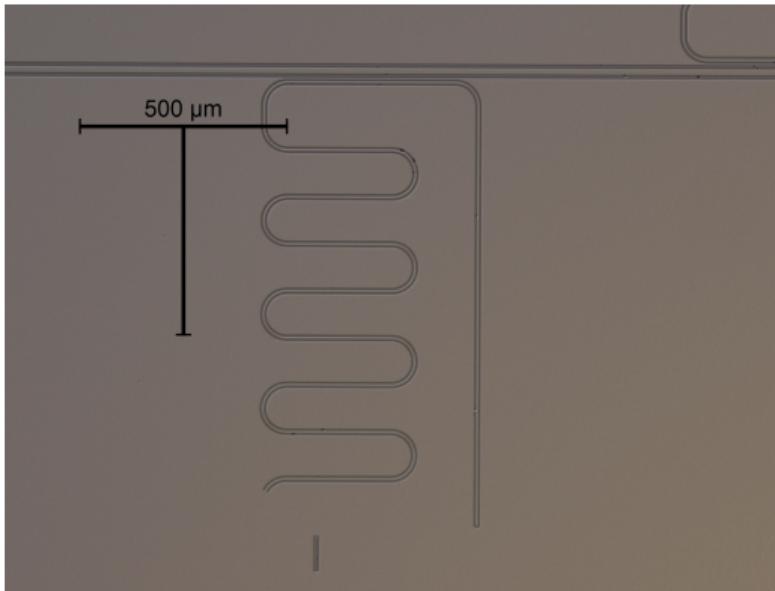
Алюминий (хороший)

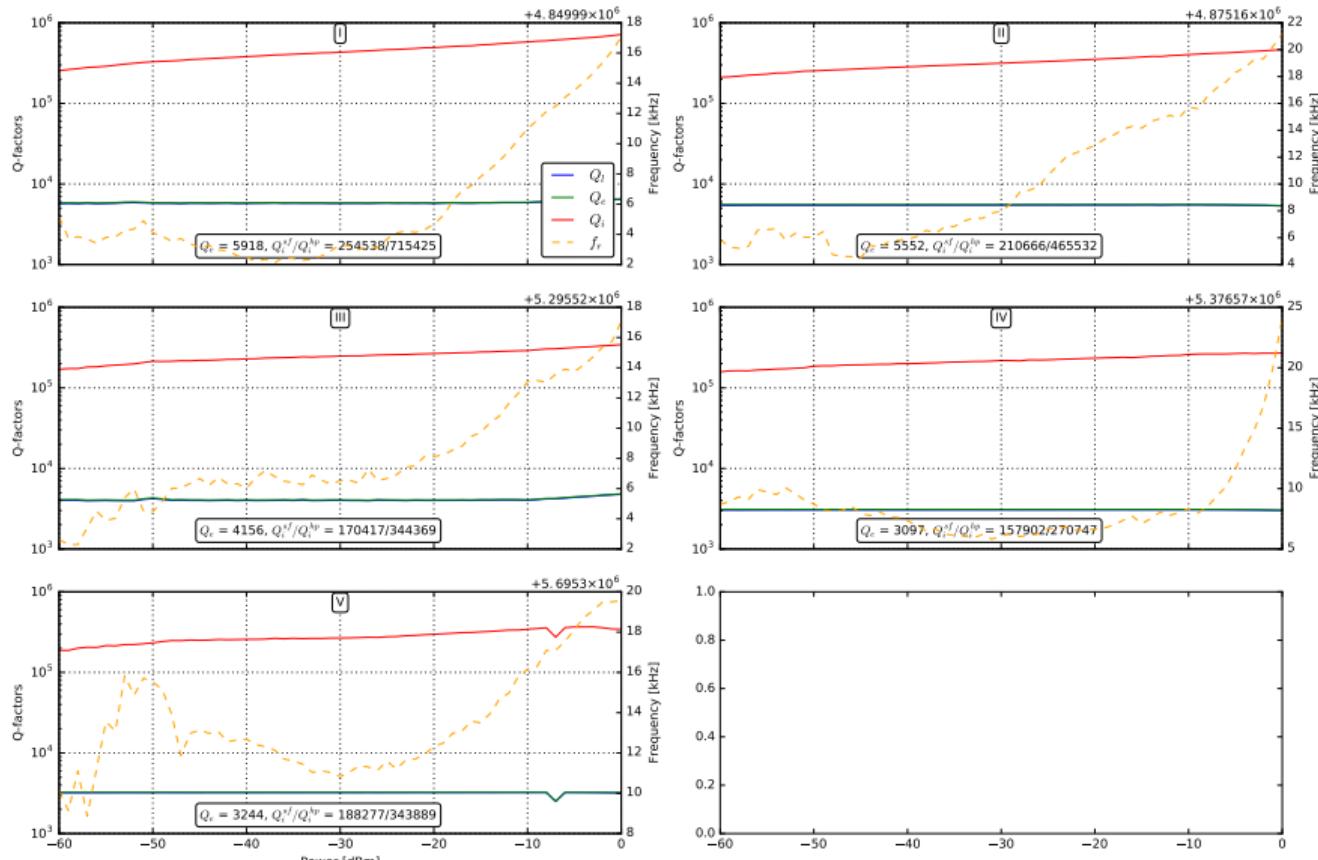
Сверхпроводниковые копланарные резонаторы



Подложка: высокоомный Si. Толстая пленка, 300 ± 30 нм.

Один из резонаторов (I):





Рейтинг однофотонных добротностей:

- NbN на высокоомном Si: 250 000
- Al на высокоомном Si: 30 000
- Nb на SiO_2 : 15 000

Nb на высокоомном кремнии должен быть гораздо лучше, чем на оксидированном. NbN показывает высокую добротность благодаря отсутствию натурального оксида, однако из-за огромной кинетической индуктивности непредсказуем по частоте при текущем уровне осаждения пленок.

1 О сQED системах

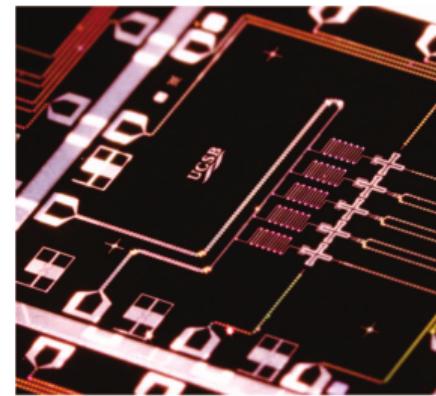
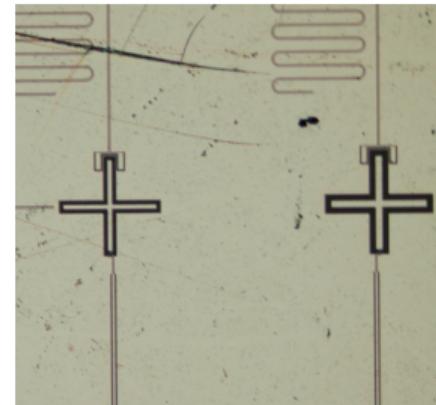
- Общий вид
- Расчет уровней энергии
- Реализация

2 Сверхпроводниковые копланарные резонаторы

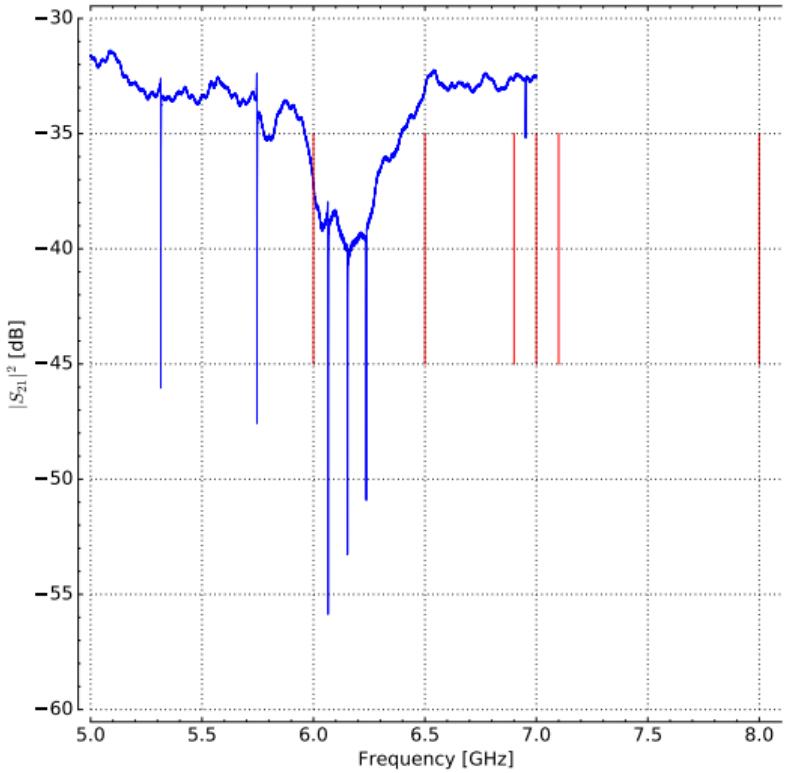
- Дизайн
- Ниобий
- Алюминий (плохой)
- Алюминий (хороший)
- Нитрид ниobia
- Итоги

3 Спектроскопия сQED системы

- Резонаторы
- Квазипересечения
- Двухтоновая спектроскопия
- Многофотонные переходы
- Динамический эффект Штарка

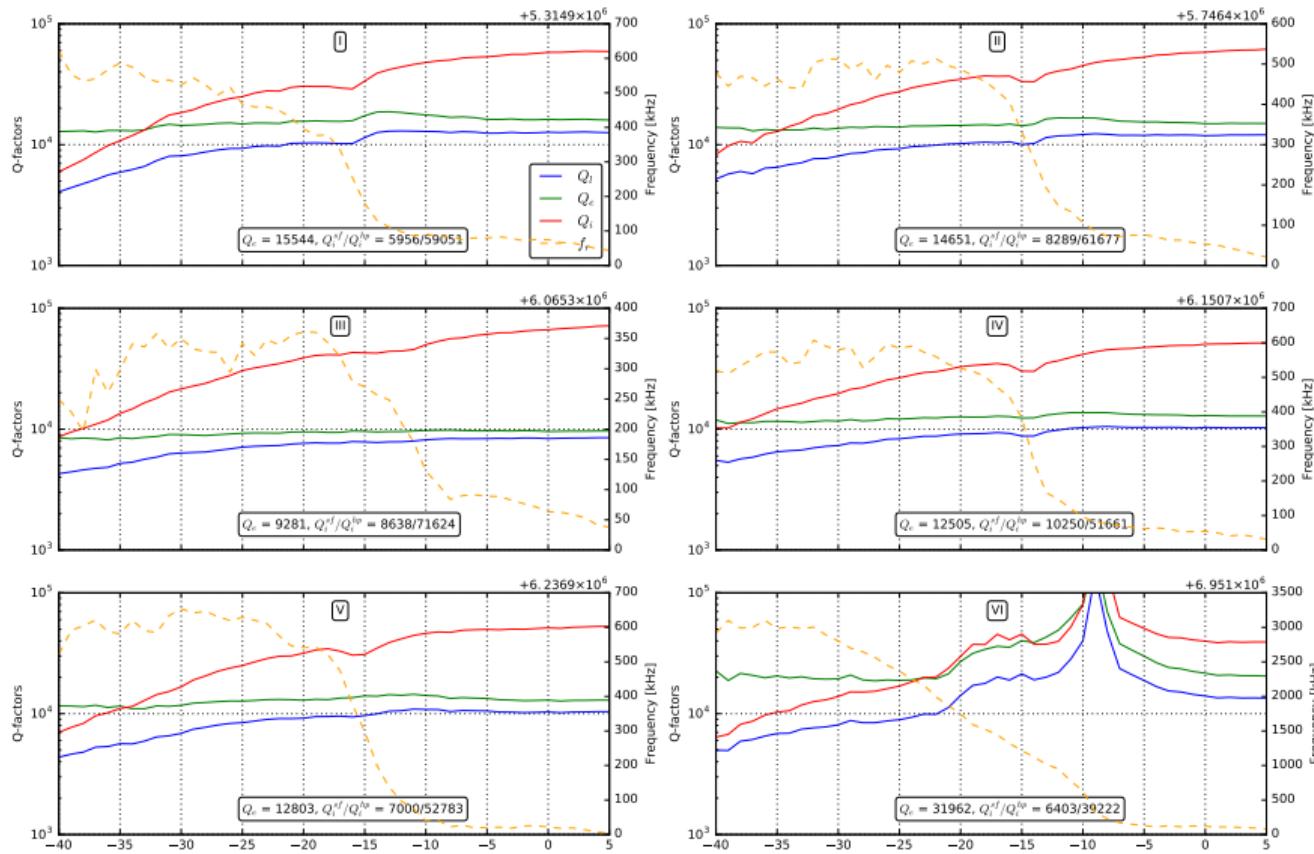


Подложка: высокоомный Si.
Фотографий фотолитографии
резонаторов пока нет.

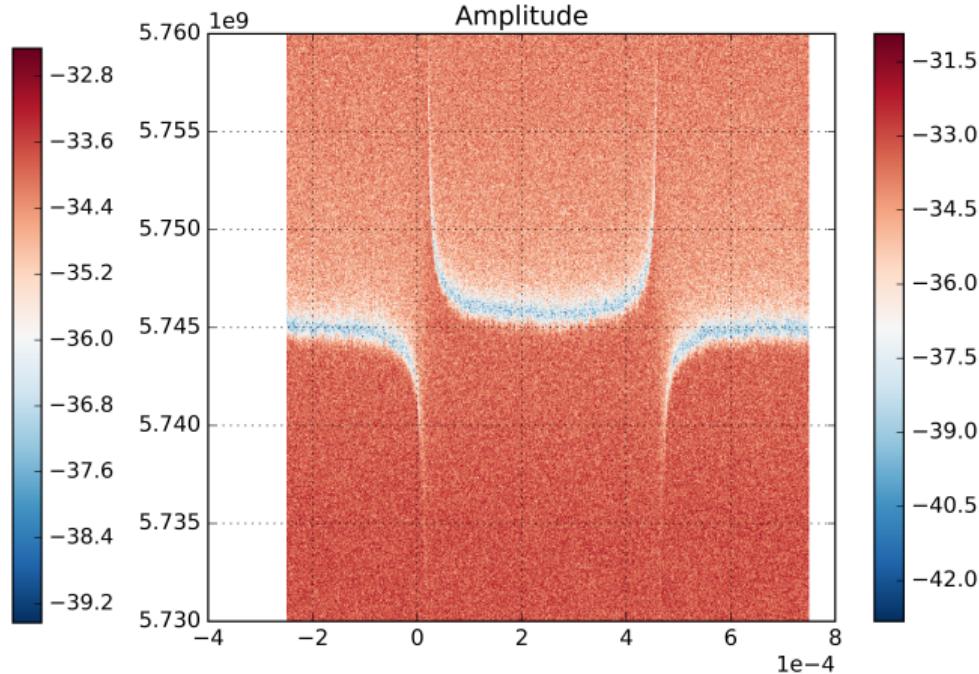
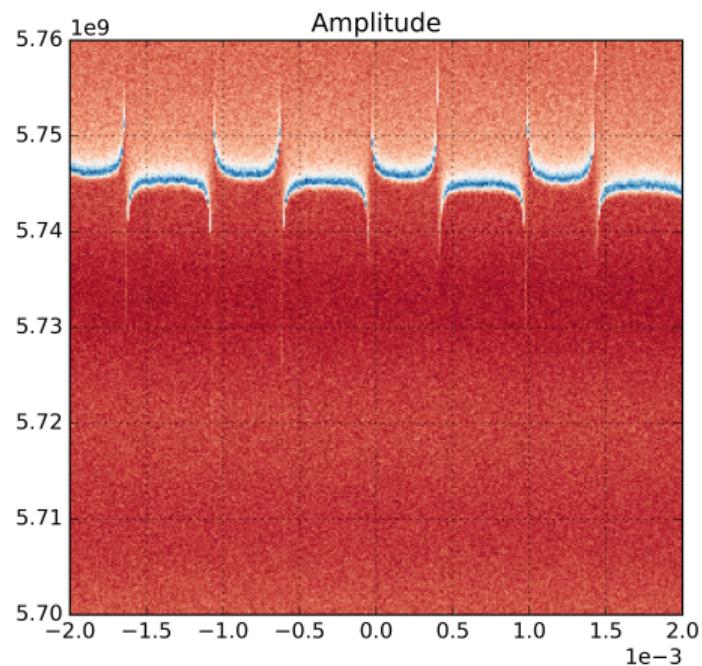


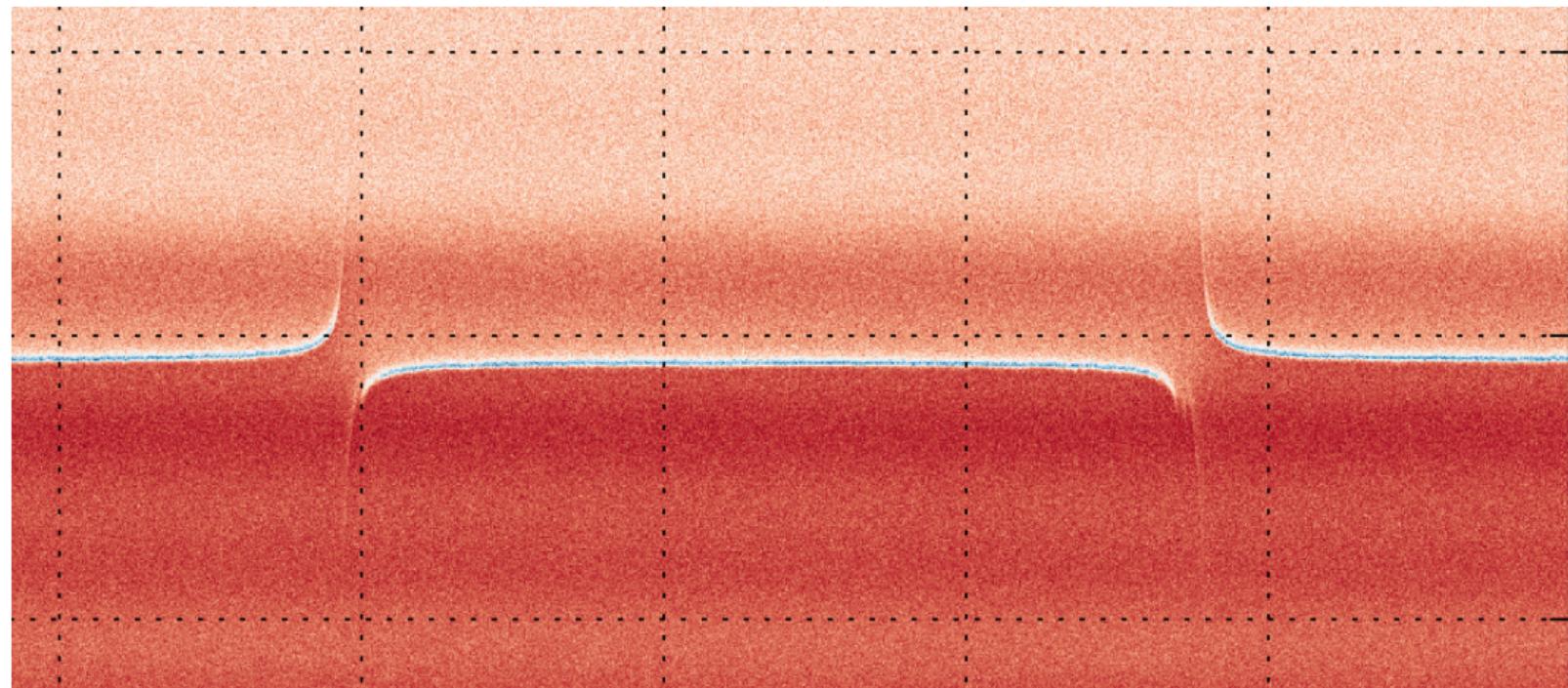
Резонаторы

Спектроскопия сQED системы



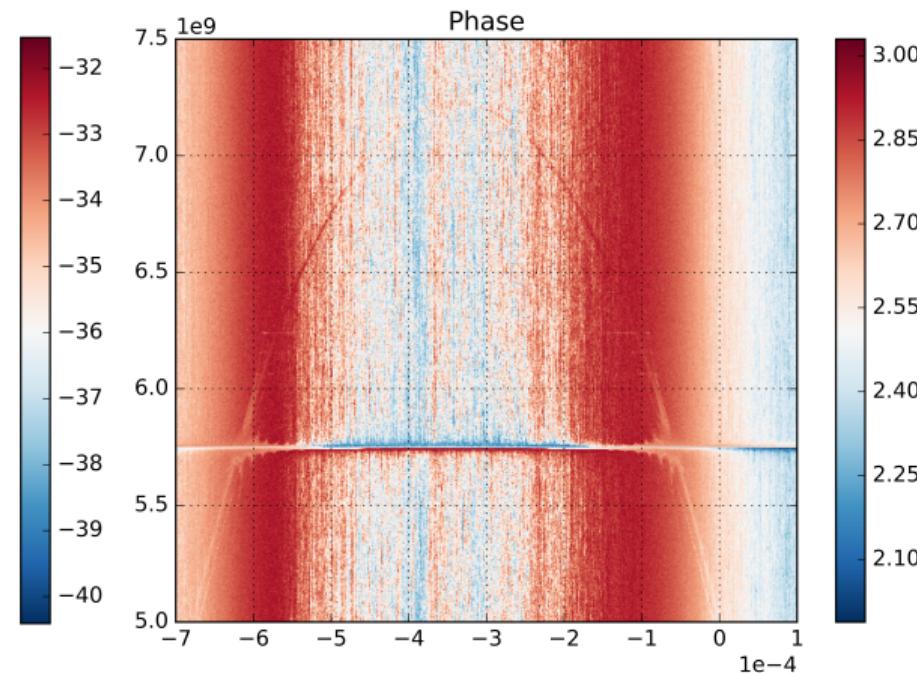
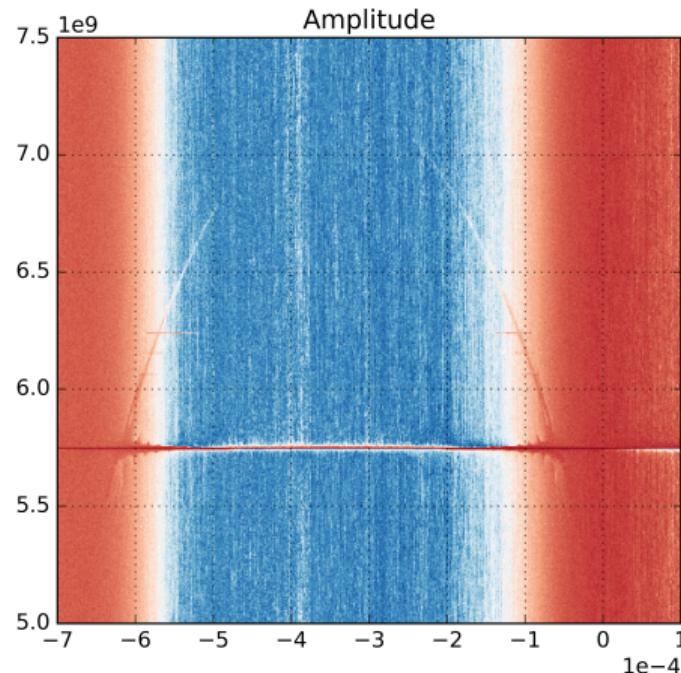
На втором резонаторе:





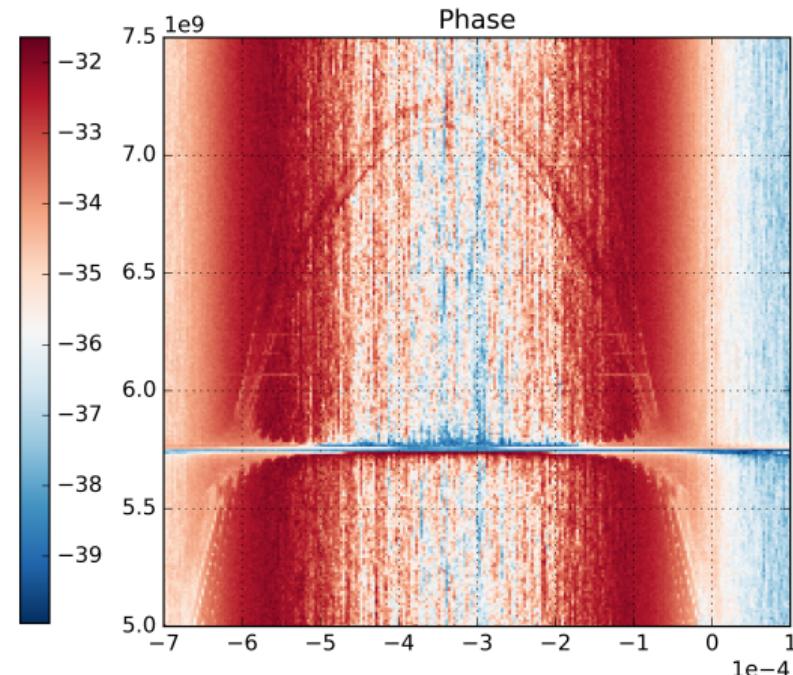
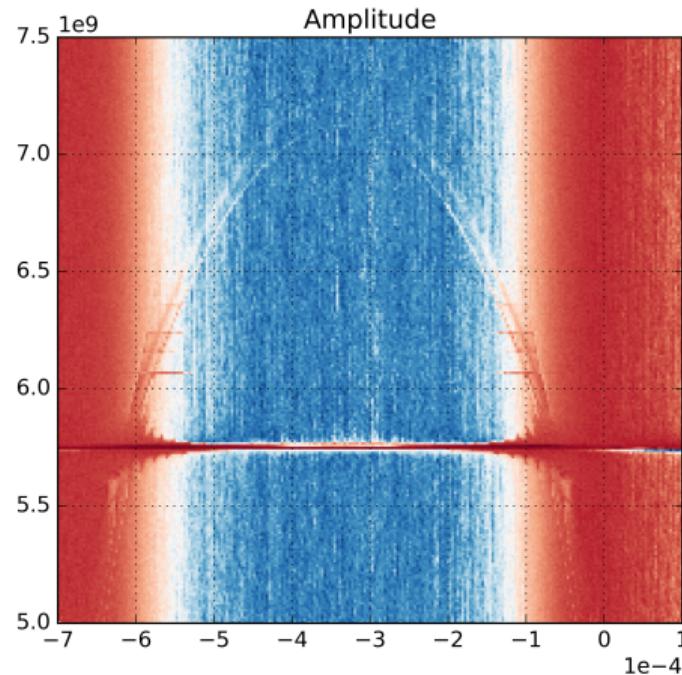
Расщепление около 60 МГц, сила связи 30 МГц в полном соответствии с расчетом.

Малая мощность (-20 дБм на источнике второго тона):



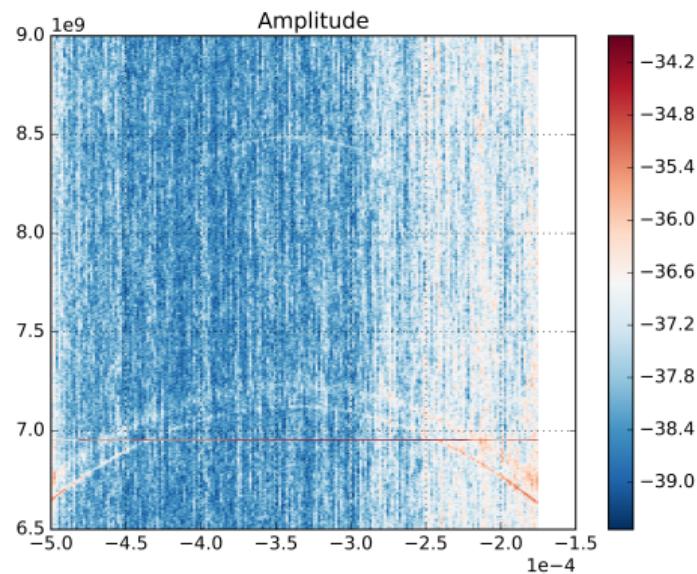
Частота перехода $\omega_{ge} = 7.23$ ГГц, расчетная: 7 ГГц.

Средняя мощность (-10 дБм на источнике второго тона):



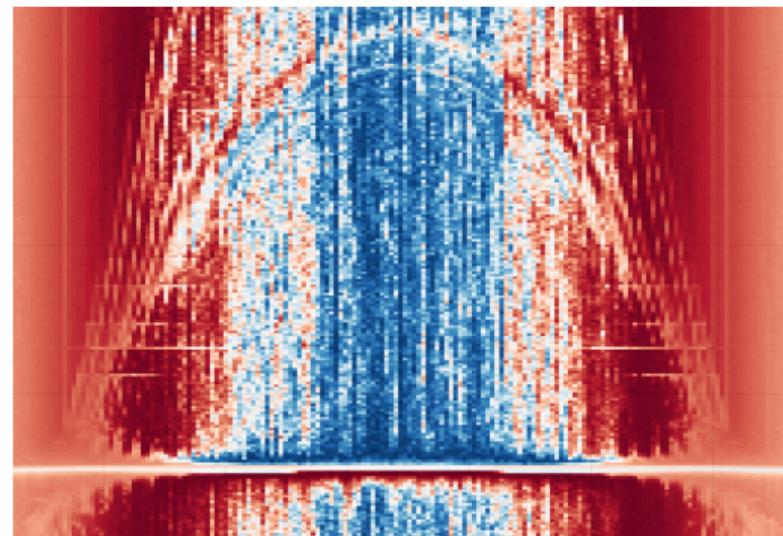
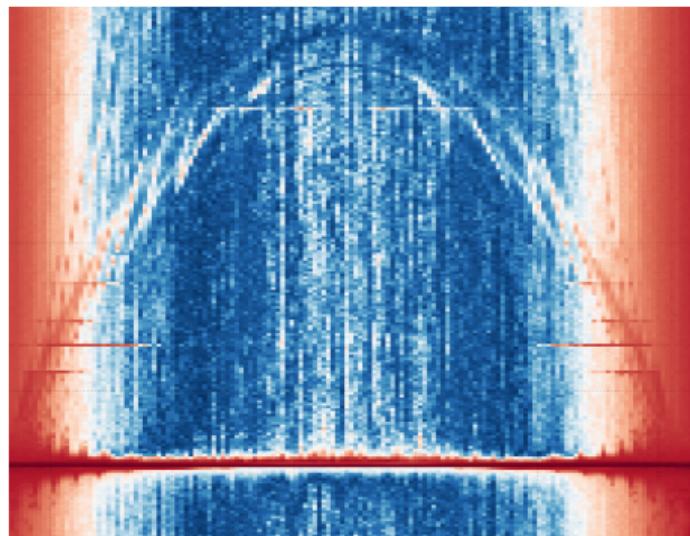
$\omega_{gf}/2 = 7.125$ ГГц, $\alpha = -210$ МГц. Расчетное значение: 230 МГц.

При той же мощности наблюдается еще одна линия на частоте ≈ 8.5 ГГц:



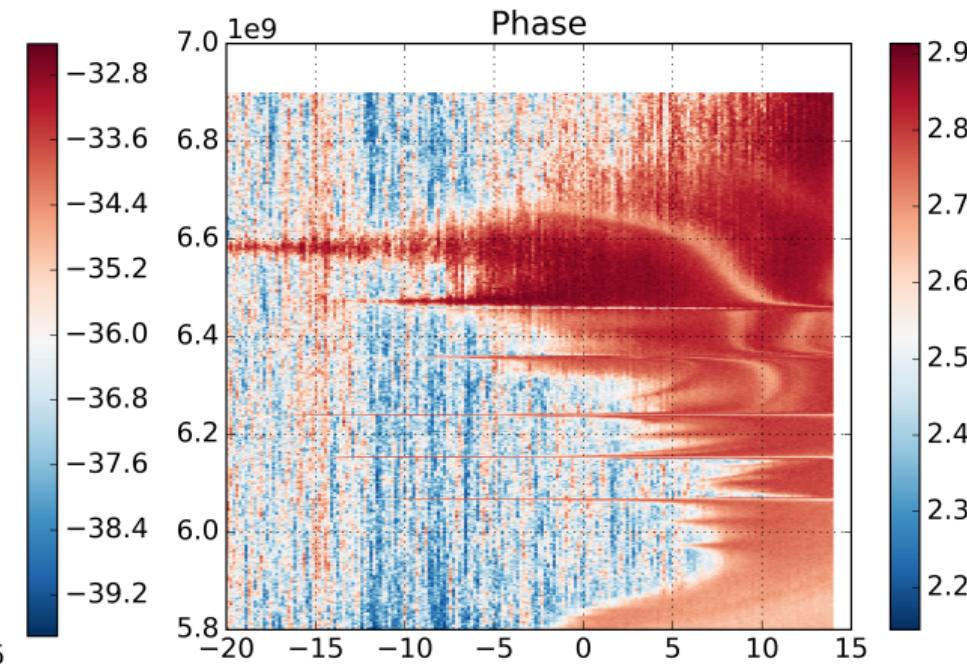
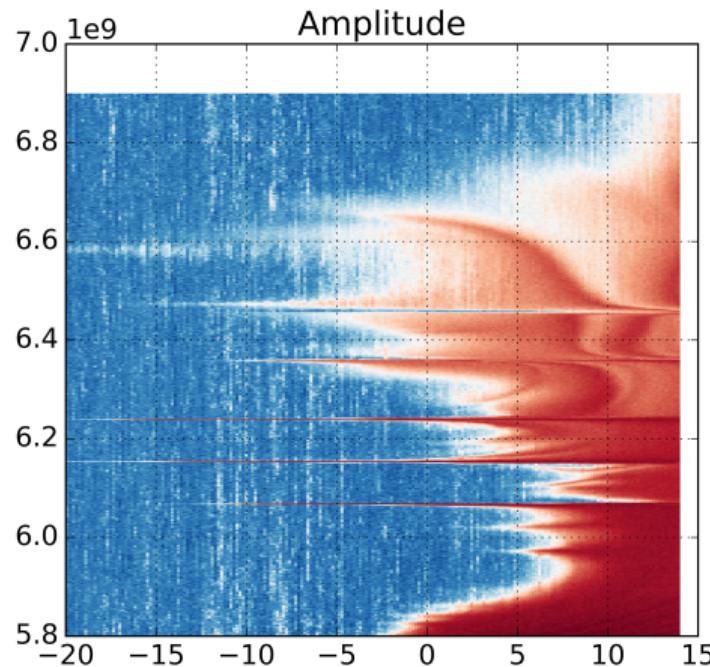
Это двухфотонный переход на третий уровень трансмона с помощью фотона из резонатора $|1, g\rangle \rightarrow |0, f\rangle$ ($\omega_{gf} - \omega_r \approx 8.5$ ГГц)

Высокая мощность (0 дБм на источнике второго тона):



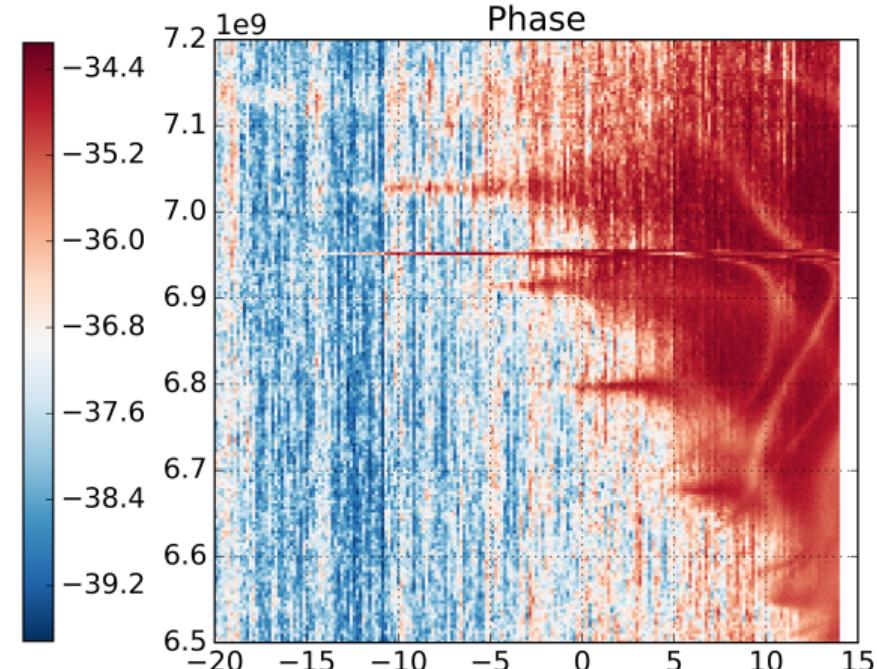
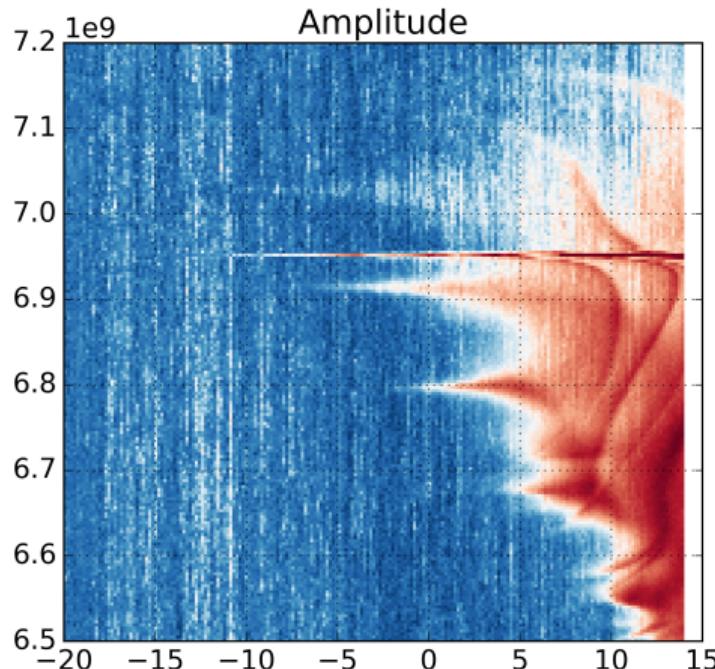
Видны множественные линии отвечающие различным многофотонным переходам.

Скан по мощности источника второго тона в окрестности перехода ge :



Явно видны переходы вплоть до трехфотонного gd ($|E_0^q\rangle \rightarrow |E_3^q\rangle$)

Такое же измерение ближе к точке вырождения:



Явно видны переходы вплоть до шестифотонного $|E_0^q\rangle \rightarrow |E_6^q\rangle$

$$\hat{\mathcal{H}}_i = \frac{\hbar g^2}{\Delta} (\hat{a}^\dagger \hat{a} + 1/2) \hat{\sigma}_z$$

