

**Влияние геометрии электродного покрытия
на параметры кварцевых резонаторов с частотами выше 125 МГц***В. С. Кондратенко, Н. В. Батрамеев*

В ходе исследования влияния геометрии электродного покрытия на параметры высокочастотных кварцевых резонаторов в металлокерамических корпусах SMD (surface mounted device – прибор для поверхностного монтажа) на частоты свыше 125 МГц, экспериментально была подобрана оптимальная форма и толщина электродного покрытия. В процессе работы было выявлено оптимальное сочетание толщины и диаметра электрода. При толщине круглого алюминиевого электрода, равной 0,2 мкм, диаметр активного электрода следует выбирать в пределах от 20 до 35 толщин рабочей области.

Ключевые слова: электродное покрытие, меза-структура, высокочастотный кварцевый резонатор.

Ссылка: Кондратенко В. С., Батрамеев Н. В. // Успехи прикладной физики. 2020. Т. 8. № 2. С. 155.

Reference: V. S. Kondratenko and N. V. Batrameev, Usp. Prikl. Fiz. 8 (2), 155 (2020).

Введение

Форма, площадь и толщина электродов в значительной степени влияют на эквивалентные параметры резонаторов [1].

При производстве кварцевых резонаторов с кристаллическими элементами АТ-среза типа меза-структуры, используются электродные покрытия из пленок меди, золота, серебра и алюминия. Напылённые пленки, являющиеся электродами на пьезоэлементах резонаторов, должны иметь: малое удельное сопротивление, равномерную толщину, хорошую

адгезию к кварцу, способность к монтажу токопроводящим клеем, способность к химическому травлению, малый удельный вес, коррозионную стойкость; высокую долговременную стабильность механических свойств (упругость, отсутствие напряжений, малый удельный вес и т. д.). В целом всему комплексу перечисленных требований не отвечает ни один металл. Поэтому при выборе материала электродного покрытия необходимо учитывать частотный диапазон и условия эксплуатации пьезоэлектрического резонатора. Стабильность свойств пленки в значительной мере определяется коррозионной стойкостью и хорошим сцеплением пленки с поверхностью кристаллического элемента.

В качестве материалов для электродных покрытий пьезоэлементов используют серебро, а на частотах свыше 30 МГц – алюминий [2]. Применение алюминия обусловлено тем, что он обладает меньшей плотностью (в 3 раза) и требует меньшей толщины покрытия (в 6 раз).

Для изготовления резонатора на частоту 500 МГц потребуется кристаллический элемент с толщиной всего 3,5 мкм. Такая пласти-

Кондратенко Владимир Степанович¹, зав. кафедрой, профессор, д.т.н.

E-mail: vsk1950@mail.ru

Батрамеев Николай Владимирович^{1,2}, соискатель, инженер.

E-mail: batrameev1989@mail.ru

¹ МИРЭА – Российский технологический университет. Россия, 107996, Москва, ул. Стромынка, 20.

² Акционерное общество «Пьезо».

Россия, 107023, Москва, ул. Буженинова, 16.

Статья поступила в редакцию 27 марта 2020 г.

© Кондратенко В. С., Батрамеев Н. В., 2020

на имеет очень низкую механическую прочность, что оказывает большое влияние на такие параметры резонатора, как ударопрочность и вибропрочность.

При изготовлении резонаторов на частоты свыше 30 МГц по первой гармонике эффективным решением этой проблемы является применение меза-структуры, то есть формирование в центре кварцевой кристаллической пластины тонкой области [3].

Напыление алюминиевого электрода на такую тонкую область является практически единственным возможным решением сформировать электрод с требуемыми параметрами. Однако алюминий химически активен и при контактировании с окружающей средой подвергается атмосферной коррозии с образованием защитной пленки оксида алюминия Al_2O_3 [4], что в свою очередь в отличие от серебра требует более сложных технологических процессов при настройке резонаторов на номинальную частоту.

Для предотвращения образования окисной пленки поверх алюминия напыляли тонкий защитный слой ванадия.

В связи с миниатюризацией высокочастотных кварцевых резонаторов требуется тщательная отработка геометрических размеров электродного покрытия и формы для достижения минимального динамического сопротивления и малого значения емкостного отношения.

Целью работы являлось исследование влияния геометрии электродного покрытия на параметры высокочастотных прецизионных

резонаторов в металлокерамических корпусах SMD на частоту свыше 150 МГц по первой гармонике.

Исследования геометрии электродного покрытия на параметры высокочастотных кварцевых резонаторов

Для определения влияния геометрии электродного покрытия на параметры высокочастотных кварцевых резонаторов в металлокерамическом корпусе SMD с пьезоэлементами типа меза-структуры (рис. 1) были изготовлены экспериментальные партии на частоту 300 МГц с различной геометрией электродного покрытия.

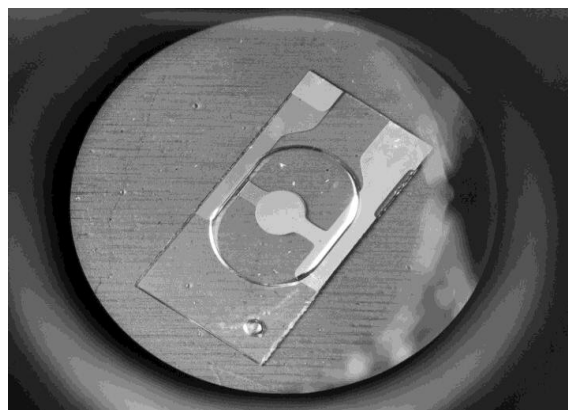


Рис. 1. Образец пьезоэлемента типа меза-структура с нанесенным круглым электродным покрытием, методом магнетронного распыления.

Параметры изготовленных высокочастотных кварцевых резонаторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры кварцевых резонаторов на частоту 300 МГц с различной геометрией активных электродов

Материал и толщина электродного покрытия, мкм	Тип, размер электрода в мм	Динамическое сопротивление, Ом	Добротность, тыс.	Емкостное отношение
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	Ромб, 0,13×0,13	169	6,2	2230
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	Ромб, 0,22×0,22	78	6,8	2710
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	Ромб, 0,45×0,45	47	5,2	2880
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	Круг, 0,125	33	10,8	1690

Из табл. 1 видно, что высокочастотные кварцевые резонаторы с ромбическими электродами показали значительно худшие параметры, высокое динамическое сопротивление и низкую добротность. Резонаторы с круглыми электродами показали минимальное значение динамического сопротивления, малое значение емкостного отношения и высокую добротность, что дает возможность выпускать

серийно высокочастотные прецизионные резонаторы в металлокерамических SMD корпусах.

Типовые спектральные характеристики данных конструкций высокочастотных кварцевых резонаторов в металлокерамическом корпусе SMD с кристаллическими элементами типа меза-структуры на частоту 300 МГц приведены на рис. 2, а–г.

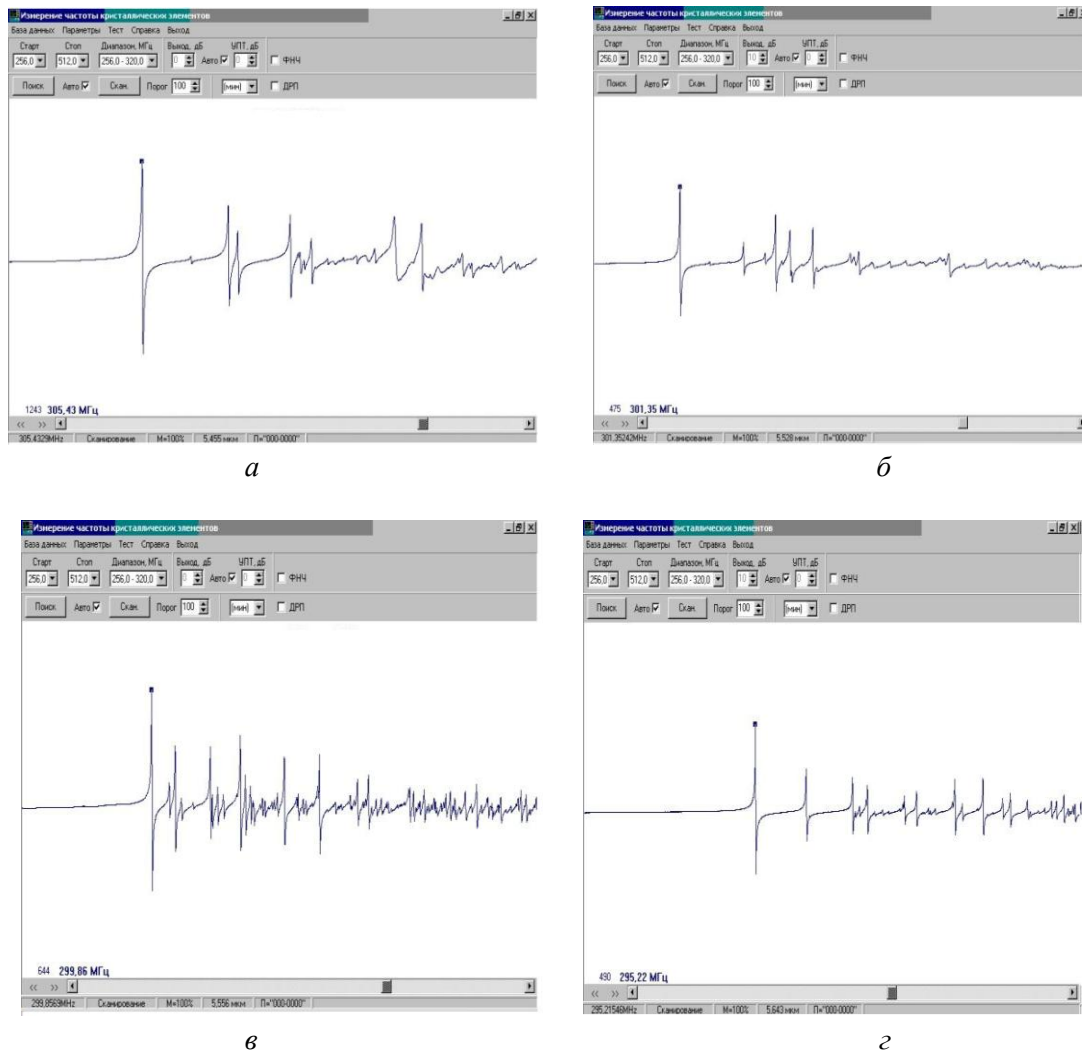


Рис. 2. Типовые спектры кварцевых резонаторов на частоту 300 МГц различной геометрией электродного покрытия. Электроды: а – Ромб, $0,13 \times 0,13$ мм; б – Ромб, $0,22 \times 0,22$ мм; в – Ромб, $0,45 \times 0,45$ мм; г – Круг, диаметр $0,125$ мм.

Как видно из приведенных рисунков, резонаторы с ромбическими электродами показали значительно худшие параметры, чем резонаторы с круглыми электродами. В спектральных характеристиках резонаторов с ромбическими электродами наблюдается значительное количество сильных побочных резонансов. Перераспределение колебательной энергии между рабочим и побочными ре-

зонансами приводит в этом случае к снижению добротности и увеличению динамического сопротивления резонатора. У резонаторов с круглым электродом спектральная характеристика имела четко выраженный пик, без большого числа побочных колебаний. На основании полученных данных, круглые электроды были выбраны как основа конструкции кристаллического элемента.

Исследования толщины электродного покрытия на параметры высокочастотных кварцевых резонаторов

Для определения оптимальной толщины и диаметра электродного покрытия были изготовлены экспериментальные партии высокочастотных кварцевых резонаторов в металлокерамическом корпусе SMD на частоту 300 МГц. Параметры данных резонаторов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что уменьшение диаметра электрода увеличивает динамическое со-

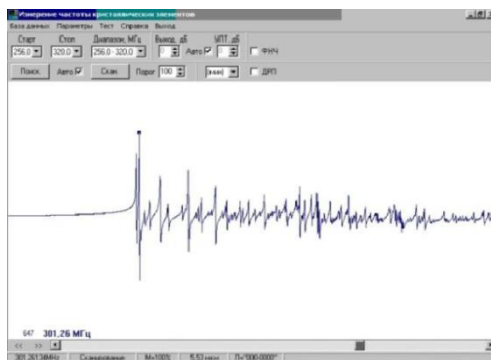
противление, однако при этом увеличивается значение добротности. Таким образом, при толщине алюминиевого электрода, равной 0,2 мкм, диаметр активного электрода следует выбирать в пределах от 20 до 35 толщин рабочей области.

Типовые спектральные характеристики высокочастотных кварцевых резонаторов в металлокерамическом корпусе SMD с круглыми электродами различного диаметра и толщины приведены на рис. 3, а–г.

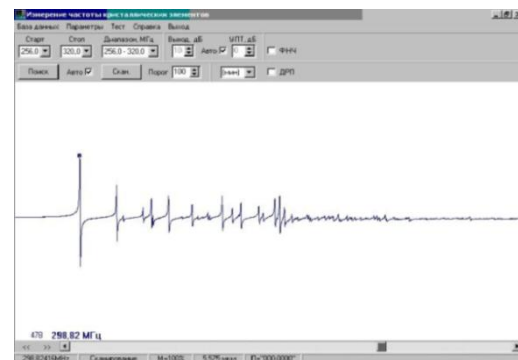
Таблица 2

Параметры резонаторов на частоту 300 МГц с круглыми электродами различного диаметра и толщины

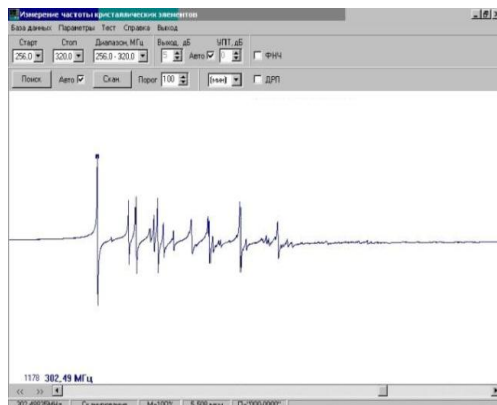
Толщина электродного покрытия, мкм	Диаметр круглого электрода, мм	Динамическое сопротивление, Ом	Добротность	Емкостное отношение
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	0,5	27	8	1650
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	0,25	26	10	1530
Алюминий 0,1 Ванадий 0,005	0,125	35	11	1390
Алюминий 0,2 Ванадий 0,005	0,125	33	12,9	1440



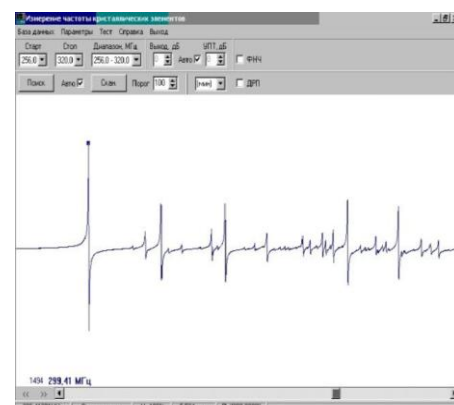
а



б



в



г

Рис. 3. Типовые спектры кварцевых резонаторов на частоту 300 МГц с круглыми электродами. Толщина алюминия 0,1 мкм, ванадия 0,005 мкм: а – диаметр 0,5 мм; б – диаметр 0,25 мм; в – диаметр 0,125 мм; толщина алюминия 0,2 мкм, ванадия 0,005 мкм; г – диаметр 0,125 мм.

Как видно из приведенных рисунков при уменьшении диаметра электрода основной пик спектральной характеристики резонатора становится более выраженным, а увеличение толщины алюминиевого электрода уменьшает число побочных колебаний.

Заключение

В ходе исследования влияния геометрии электродного покрытия на параметры высокочастотных кварцевых резонаторов был подобран оптимальный геометрический размер и толщина электрода. На основании полученных данных, круглые электроды были выбраны как основа конструкции кристаллического элемента. Было выявлено, что при толщине алюминиевого электрода, равной 0,2 мкм, диаметр активного электрода следует выбирать в пределах от 20 до 35 толщин рабочей области.

Данные результаты дали возможность получать пьезоэлементы с требуемыми параметрами, что в свою очередь позволило начать серийное изготовление высокочастотные прецизионные резонаторы в металлокерамических SMD корпусах на частоту свыше 150 МГц по первой гармонике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мостяев В. А., Дюжиков В. И. Технология пьезо- и акустоэлектронных устройств. – М.: Ягуар, 1993.
2. Андросова В. Г., Боронникова Е. Г., Васильев А. М., Вороховский Я. Л., Грузиненко В. Б., Давыдов Б. И., Колобков В. Г., Кочетков Ю. А., Киреев К. В., Дикиджи А. И., Ильичев В. А., Кандыба П. Е., Поздняков П. Г., Христоворов В. И. Пьезоэлектрические резонаторы / Справочник / Под ред. П. Е. Кандыбы и П. Г. Позднякова. – М.: Радио и связь, 1992.
3. Батрамеев Н. В., Курочка С. П. // Приборы. 2018. № 3 (213). С. 34.
4. Борисова Н. В., Суровой Э. П., Титов И. В. // Известия Томского политехнического университета. 2007. № 1 (310). С. 110.

PACS: 43.58.Kr

Study of the influence of the configuration of electrode coating on the parameters of high-frequency quartz resonators in frequency range above 125 MHz

V. S. Kondratenko¹ and N. V. Batrameev^{1,2}

¹MIREA – Russian Technological University
20 Stromynka st., Moscow, 107996, Russia

²SC Piezo
16 Buzeninova st., Moscow, 107023, Russia

Received March 27, 2020

During the study of the influence of the configuration of electrode coating on the parameters of high-frequency quartz resonators at frequencies above 125 MHz, the optimal shape and thickness of the electrode coating were experimentally selected. In the process, an optimal combination of the thickness and diameter of the electrode was determined. If the thickness of the round-shape aluminum electrode is 0.2 μm, the diameter of the active electrode should be selected in the range from 20 to 35 thicknesses of the working area.

Keywords: electrode coating, mesa-structure, high-frequency quartz resonator.

REFERENCES

1. V. A. Mostyaev and V. I. Dyuzhikov, *Technology of piezo – and acoustoelectronic devices* (Jaguar, Moscow, 1993) [in Russian].
2. V. G. Androsova, E. G. Boronnikova, A. M. Vasiliev, Y. L. Vorokhovskiy, V. B. Gruzinenko, B. I. Davydov, V. G. Kolobkov, Yu. A. Kochetkov, K. V. Kireev, A. I. Di-
- kidzhi, V. A. Ilyichev, P. E. Kandyba, P. G. Pozdnyakov, and V. I. Khristoforov, *Piezoelectric resonators* (Radio and communication, Moscow, 1992) [in Russian].
3. N. V. Batrameev, and S. P. Kurochka, *Device*, No. 3, 34 (2018).
4. N. V. Borisova, E. P. Surovoi, and I. V. Titov, *Proceedings of the Tomsk Polytechnic University*, No. 1,

110(2007).