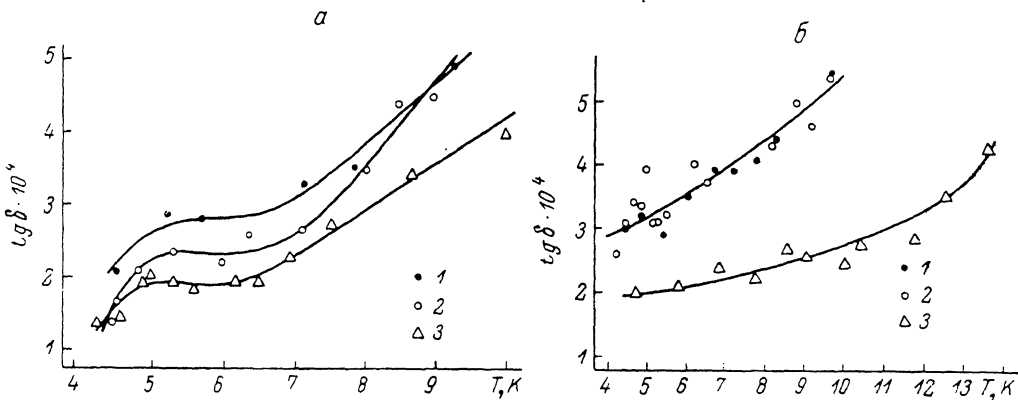


ВОЗБУЖДЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ИЗ KTaO_3 НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Г. В. Белокопытов, И. В. Иванов, М. Е. Решетников,
И. Ю. Сыромятников

Монокристаллы нелинейного диэлектрика танталата калия обладают весьма малыми диэлектрическими потерями. При температуре 4.2 К максимальные добротности диэлектрических резонаторов (ДР) из KTaO_3 , измеренные в диапазоне 0.5—15 ГГц, составляли от $1.8 \cdot 10^4$ (1 ГГц) до $8 \cdot 10^4$ (14 ГГц) [1, 2]. Исследование потерь KTaO_3 на более высоких частотах столкнулось со значительными трудностями вследствие резкого ухудшения связи ДР с СВЧ трактом, особенно на высших модах. В [3] были проведены измерения в диапазоне 30—36 ГГц на образцах с объемом порядка 10^{-2} мм³, возбуждавшихся на основной или на одной из низших мод. Работа с такими резонаторами осложнена их малыми размерами и значительными тепловыми и нелинейными расстройками, проявляющимися в данных кристаллах уже при падающей мощности порядка единиц мкВт.



Температурные зависимости диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ KTaO_3 (а) и $\text{K}_{1-x}\text{Li}_x\text{TaO}_3$ (б).

а: 1 — образец № 22, 2 — № 29, 3 — № 14; б: 1 — $x=0.02$, 2 — 0.05, 3 — 0.1.

Нами было получено эффективное возбуждение ДР сравнительно большого объема (около 1 мм³) на частотах 8-мм диапазона. Положительные результаты были достигнуты при использовании в качестве согласующего элемента металлических решеток, представляющих собой систему тонких параллельных проволочек. Будучи помещенной в волновод, решетка вносит в прилегающей к ней области периодическое возмущение в пространственное распределение электромагнитного поля. Вместе с тем при определенных условиях [4] такая решетка не вносит в СВЧ тракт существенного дополнительного отражения и поглощения. Если период решетки сравним с длиной волны в диэлектрике, то в возмущенной структуре достигается увеличение коэффициента связи ДР с трактом, поскольку в окрестности решетки существенно возрастает интенсивность таких пространственных гармоник падающей волны, которые близки к распределению поля собственных колебаний ДР. Для KTaO_3 при гелиевых температурах $\epsilon \approx 5 \cdot 10^8$, а период решетки должен составлять ~ 0.1 мм. Использование решеток, изготовленных из медной проволоки толщиной 0.05 мм, позволило значительно улучшить связь ДР с СВЧ полем и возбуждать их на типах колебаний с высокими индексами (30—40 полуволн на длине ДР). При этом удавалось наблюдать связь отдельных мод, близкую к критической ($\beta \leq 1$). Спектр мод, возбуждавшихся в ДР с заметной эффективностью, был не слишком густым, обычно наблюдалось 4—6 мод в полосе 1 ГГц.

Для увеличения коэффициента связи следует располагать ДР ближе к решетке, поскольку возмущение электромагнитного поля спадает как r^{-1} , где r — расстояние от плоскости решетки. При приближении резонатора к решетке неизбежен рост потерь за счет поверхностных токов в проводниках, возбуждаемых полем ДР. Однако эксперимент показал, что при 4.2 К решетка из медных проволочек, расположенная на расстоянии 0.1 мм от ДР,

не вносит дополнительного затухания, заметного на уровне диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta \sim 10^{-4}$.

Указанным способом на установке [3] были получены температурные зависимости диэлектрических потерь как чистого талого калия, так и кристаллов, легированных литием (см. рисунок, а, б). Измерения в частотном диапазоне 30—35 ГГц были проведены в интервале температур 4.2—12 К. Лучшие значения $\operatorname{tg} \delta = Q^{-1}$ оказались больше, чем следовало ожидать исходя из представления о решеточном характере потерь, при котором $\operatorname{tg} \delta \sim \omega$. Так, например, на одних и тех же образцах были получены значения $\operatorname{tg} \delta = 1.4 \cdot 10^{-5}$ на 14 ГГц и $\operatorname{tg} \delta = 1.3 \cdot 10^{-4}$ на 33 ГГц.

Обращает на себя внимание низкий уровень потерь кристаллов KTaO_3 , легированных литием, которые, как известно [5], находятся при гелиевых температурах в сегнетофазе. Малость потерь этих кристаллов объясняется тем, что как диполи нецентральных ионов Li, так и сегнетоэлектрические домены при гелиевых температурах оказываются «замороженными» и не участвуют в процессах диэлектрической релаксации [6].

Осуществленный в работе способ увеличения связи ДР с трактом СВЧ полезен не только для измерения потерь методом диэлектрического резонатора, но и для практического применения в технике миллиметровых волн и реализации высокодобротных миниатюрных сегнетоэлектрических резонаторов.

Литература

- [1] Белокопытов Г. В., Иванов И. В., Катанов С. И. и др. ФТТ, 1982, т. 24, № 6, с. 1865—1867.
- [2] Белокопытов Г. В., Иванов И. В., Моисеев Н. Н., Решетников М. Е. Тез. докл. X Всес. конф. по сегнетоэлектричеству. Минск, 1982, ч. II. 41 с.
- [3] Белокопытов Г. В., Иванов И. В., Петров Д. Г., Решетников М. Е. ФТТ, 1984, т. 26, № 2, с. 545—547.
- [4] Волков А. А., Чернышев И. М., Ирисова Н. А. и др. Препринт ФИАН, № 111, М., 1981.
- [5] Смоленский Г. А., Сотников А. В., Сырников П. П., Юшин Н. К. Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, № 1, с. 30—33.
- [6] Höchli U. T., Weibel H. E., Boatner L. A. Phys. Rev. Lett., 1978, v. 41, N 20, p. 1410—1413.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Физический факультет

Поступило в Редакцию
9 января 1987 г.

РАВНОВЕСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ИНЖЕКТИРУЕМОГО ИЗ ДИОДА С МАГНИТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ВОЛНОВОД, НАГРУЖЕННЫЙ ДИЭЛЕКТРИКОМ

А. С. Шлапаковский

В последнее время значительных успехов достигли экспериментальные работы по генерации коротковолнового СВЧ излучения сильноточными релятивистскими электронными пучками, транспортируемыми в волноводах с частичным диэлектрическим заполнением [1, 2]. Для расчета подобного рода приборов необходимо знать параметры стационарного состояния пучка в области дрейфа: энергию, ток, профиль плотности и т. п. В [3] была записана система уравнений, связывающая эти параметры, и, в частности, приведено выражение для предельного тока транспортировки при сильном магнитном поле. Хорошо известно, однако, что ток пучка однозначно определяется условиями его формирования. В сильноточной СВЧ электронике пучок чаще всего формируется в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией [4]. Для этого источника в работе [5] был предложен метод, основанный на учете сохранения потока z-компоненты импульса частиц и поля и граничных условий на катоде (ограничение тока пространственным зарядом), который позволил получить аналитические выражения для тока и равновесной энергии электронов в предположении бесконечно сильного магнитного поля и бесконечно тонкого пучка. В настоящем сообщении указанный метод обобщается на