

КВАНТОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ 8-мм ДИАПАЗОНА НА РУТИЛЕ

В. П. ШАХПАРЯН

Приведены результаты создания КПУ 8-мм диапазона на рутиле. При температуре 4,2°K на образцах рутила, размеры которых подобраны таким образом, чтобы в них возбуждались только два типа колебаний, удалось получить полосу пропускания примерно 15 МГц при усилении 15 ÷ 18 дБ. Влияние высокой диэлектрической постоянной уменьшено благодаря разделению высокочастотных полей в объеме, где происходит взаимодействие сигнала с веществом. Исследована возможность улучшения характеристик этого усилителя путем модуляции частоты накачки.

Достаточно высокое начальное расщепление рутила с примесью трехвалентного хрома и железа, как известно [1, 2], позволяет использовать его в качестве активного вещества для квантовых усилителей миллиметрового диапазона. Большая величина диэлектрической проницаемости позволяет получать диэлектрические резонаторы с максимальным коэффициентом заполнения волноводного тракта с активным веществом. Этим объясняется тот факт, что созданные квантовые усилители на рутиле [3, 4], в основном, работают при низких температурах (1,6 ÷ 1,7°K). Это вызывает определенные трудности при их практическом применении.

Создание квантовых усилителей миллиметрового диапазона, работающих при температуре 4,2°K и более высоких температурах, возможно только при достаточно сильном взаимодействии полей накачки и сигнала с активным веществом. С этой точки зрения наибольший интерес представляет усилитель резонаторного типа.

В настоящей работе описывается резонаторный квантовый парамагнитный усилитель (КПУ) 8-мм диапазона на рутиле с примесью ионов хрома. Приводятся также результаты исследования характеристик этого КПУ при постоянной и частотно-модулированной накачке.

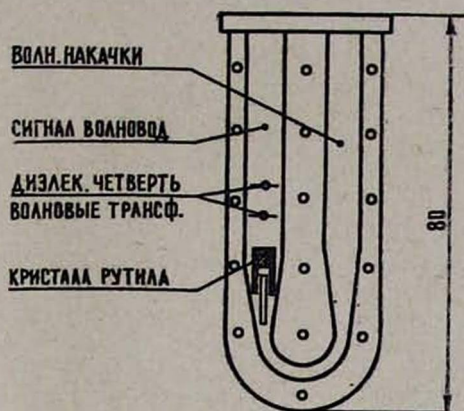
Благодаря высокой диэлектрической проницаемости рутила можно использовать кристалл вещества в качестве резонатора. При этом плотность типов колебаний в объеме кристалла можно вычислить по формуле Релея—Джинса с учетом анизотропии кристалла:

$$dU = \frac{8\pi V \varepsilon_{\perp} V \varepsilon_{\parallel}}{c^3} f^3 df, \quad (1)$$

где V —объем кристалла, $\varepsilon_{\perp}$ и $\varepsilon_{\parallel}$ — компоненты диэлектрической проницаемости в перпендикулярной и параллельной ориентациях, f — частота сигнала.

Однако при этом возникают большие трудности согласования трактов сигнала и накачки с многочисленными типами колебаний, которые возбуждаются. Для обеспечения хорошего согласования сигнала и накачки с кристаллом была сконструирована специальная резонансная система, где электрическая и магнитная составляющие СВЧ сигнала разделялись, а кристалл помещался в пучности магнитной составляющей.

Конструкция резонаторной системы приведена на рисунке. Резонансная система представляет собой отрезок П-образного волновода, который плавно переходит в прямоугольные волноводы по сигналу и накачке с соответствующими размерами $7,2 \times 1,5$ мм² и $3,0 \times 1,5$ мм². Размеры волновода по накачке выбраны так, что он является запертым по сигналу.



Конструкция резонаторной головки для КПУ
8-мм диапазона.

Для согласования тракта сигнала с веществом были использованы различные системы согласования. Наиболее эффективными оказались четвертьволновые трансформаторы, расстояние и положение которых в волноводе изменялись. В качестве материала для трансформаторов использовался стикаст с $\epsilon = 5,0$. Были испытаны и сапфировые пластины ($\epsilon = 10$). Наилучшее согласование получилось при толщинах пластин 1 мм по тракту сигнала и $0,6 \div 0,7$ мм по накачке.

Образцы рутила с примесью ионов хрома, использованные в этих экспериментах, были вырезаны из булей в ориентациях $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$. Концентрация примесей в них была приблизительно 0,1%. Использовались образцы П-образной и прямоугольной форм. При этом размеры образцов выбирались таким образом, чтобы согласно выражению (1) в объеме кристалла возбуждалось определенное число колебаний в заданном интервале частот. В экспериментах были использованы образцы с объемом 8 мм³, где возбуждалась одна мода в интервале частот 100 МГц, и объемом 20 мм³, в которых возбуждались два типа колебаний.

Частота накачки и напряженность внешнего магнитного поля определялись путем численного решения спин—гамильтониана для ионов хрома в рутиле, приведенного в [2]. При ориентации $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ в качестве сигнального служил переход $4 \rightarrow 3$, а переходом накачки — $2 \rightarrow 4$. При этом частота накачки составляла примерно 65 ГГц, а напряженность внешнего магнитного поля — 5800 э.

Рабочие характеристики усилителя снимались при помощи широкополосного видеоприемника, а источником сигнала служила ЛОВ в режиме 628—4

модуляции частоты. При помощи такого приемника удалось исследовать характеристики этого КПУ в довольно широком диапазоне частот ($36 \div 38$ Гц). В качестве источника накачки была использована более мощная ЛОВ на частоте 65 Гц с выходной мощностью около 1 вт. В наших экспериментах мощность накачки составляла не более 200 мвт. Отметим, однако, что инверсия, а иногда и генерация на отдельных модах возникали при мощности накачки, не превышающей 20 мвт.

Различия в релаксационных вероятностях сигнального и холостого переходов позволили получить инверсию населенностей на частоте, большей половины частоты накачки. При этом наблюдалась нестабильность коэффициента усиления, вызванная кипением жидкого гелия, что приводит к достаточно сильному изменению диэлектрической постоянной рутила, так как она сильно зависит от температуры. Если эффективный объем одномодового кристалла при температуре 300°K составляет 6,6 мл³, то при температуре 4,2°K он составляет 3,6 мл³. Кипение гелия всегда приводит к появлению нестабильности коэффициента усиления. Поэтому желательно образец изолировать от жидкого гелия.

На двухмодовом образце удалось получить усиление одновременно на двух модах. При помощи регулировки связи можно было сдвигать и раздвигать частоты колебаний этих мод. При этом полоса пропускания была больше 15 МГц, а степень нестабильности была больше, чем в одномодовом образце.

На этом же усилителе были измерены характеристики при модуляции частоты накачки. Диапазон электронной настройки лампы накачки составлял 150 МГц, частота модуляции была равна 20 КГц. Измерения показали, что при модуляции частоты накачки нестабильность коэффициента усиления уменьшается на один порядок по сравнению с нестабильностью при постоянной накачке. В обоих случаях величины нестабильностей измерялись при одних и тех же значениях коэффициента усиления. При модуляции частоты накачки кроме улучшения стабильности коэффициента усиления было замечено еще и расширение полосы пропускания. Если при постоянной накачке ширина полосы КПУ составляла $6 \div 8$ МГц при коэффициенте усиления $18 \div 15$ дБ, то при модулированной накачке при том же усилении ширина увеличивалась на $2 \div 3$ МГц.

Уменьшение нестабильности коэффициента усиления, увеличение полосы усиления и коэффициента усиления связано с тем, что частота сигнального перехода не является дискретной, а характеризуется полосой конечной ширины, что в свою очередь объясняется наличием спин-спиновой связи, неоднородностью кристалла и другими менее существенными эффектами. При постоянной накачке не удается полностью использовать полосы переходов накачки и сигнала. При частотно-модулированной же накачке ширина линии перехода используется полностью. Тем самым улучшаются характеристики КПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Foner, L. Momo. J. Appl. Phys., 31, 742 (1960).
2. H. J. Geritsen et al. Phys. Rev. Lett., 2, 153 (1959).
3. Փ. Արամս, Ե. Քեյտոն. ТИИЭР, 53, 12 (1965).
4. Y. de Coatpont, A. Robert. L'Onde Electr., 47, 479 (1967).

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒԺԵՂԱՑՈՒՑԻՉ ՌՈՒՏԻԼԻ ՎՐԱ 8-մմ
ՌԱԴԻՈՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ

Վ. Պ. ՇԱԽՊԱՐՅԱՆ

Աշխատանքում բերված է 8 մմ ռադիոտիրույթում ռուտիլի վրա քվանտային ուժեղացուցիչի սպտրաստման և փորձարկման ռադիոնասիրության արդյունքները: Ռուտիլի համապատասխան նմուշների վրա, որոնց չափսերը ընտրված են այնպես, որ նրանցում գրգռվում էին մեկ կամ երկու արտի ալիքներ, հաջողվել է 15 մճց ուժեղացման շերտում ստանալ 15÷18 դբ-ի ուժեղացում: Ռադիոնասիրված է նաև այդ ուժեղացուցիչի պարամետրերի բարելավման հարցը մղման հաճախության մոդուլացիայի ճանապարհով:

8-mm RUTHIL— Cr^{+3} DOPED MASER

V. P. SHAKHPARYAN

The construction of 8-mm ruthil— Cr^{+3} doped maser is described and the results of its experimental investigation are given. The 15÷18 db gain was achieved at liquid helium temperature of 4.2 °K and 15 MHz band width.