

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
В ВОЛНОВОДНЫХ КВАНТОВЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

М. О. МАНВЕЛЯН, Р. М. МАРТИРОСЯН, Л. Э. АБРАМЯН

Институт радифизики и электроники НАН Армении

(Поступила в редакцию 24 декабря 1993 г.)

Показано, что предельная площадь усиления волноводного квантового усилителя достигается соответствующим выбором длины и концентрации кристаллов в зависимости от потерь в нем.

В последние годы при разработке квантовых усилителей (КУ) предпочтение отдается усилителям волноводного типа (ВКУ) [1—3]. Они технологичны в изготовлении (сечение волновода заполняется активным веществом), обладают широкими полосами перестройки и пропускания, но имеют малое усиление на единицу длины активного вещества. Широкополосность в них достигается линейной расстройкой внешнего магнитного поля, приводящей к неоднородному уширению линии ЭПР.

В настоящей работе на примере рубинового КУ на частоте 22,2 ГГц, при симметричной схеме накачки ($\Theta = 54,7^\circ$) исследована возможность получения максимальной площади усиления от каскада ВКУ в заданной полосе частот путем более эффективного использования рабочего вещества и электродинамической системы. Под площадью усиления подразумевается произведение $\Delta F(G^{1/2} - 1)$, где ΔF — полоса пропускания, G — коэффициент усиления отражательного КУ.

С одной стороны, ВКУ из-за больших длин рабочих кристаллов ($l_k \gg \lambda_{\text{в}}$) является системой с распределенными параметрами. Расчет усиления последнего осуществляется методами, применяемыми для усилителей бегущей волны, рассматривая стоячую волну в нем как сумму двух противоположно бегущих волн. Коэффициент усиления такой системы (без поправок на линейную расстройку магнитного поля) дается выражением:

$$G_{\text{дБ}} = 2 \cdot 27,3 \frac{s l_k}{Q_m}, \quad (1)$$

где s — коэффициент замедления групповой скорости сигнальной волны в кристалле, Q — магнитная добротность активного вещества:

$$\frac{1}{Q_m} = k \frac{NI}{\Delta \nu}, \quad (2)$$

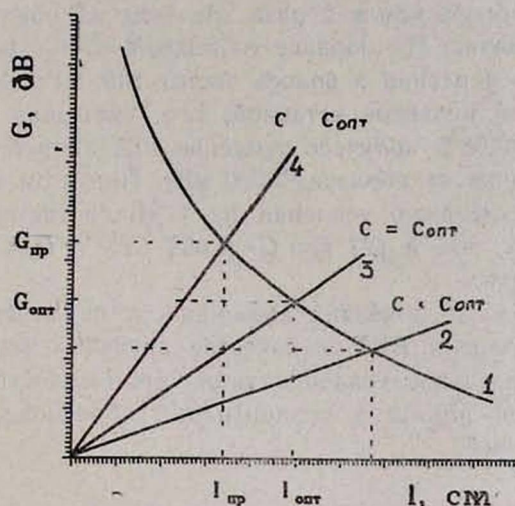
k — постоянная, N — число парамагнитных частиц в см^3 вещества. I — коэффициент инверсии, а $\Delta \nu$ — ширина линии сигнального перехода.

С другой стороны, ВКУ это обычный усилитель отражательного типа, без резонансных элементов, обладающий конечными потерями (α). Вследствие этого усиление ВКУ ограничивается следующим выражением:

$$G_{(дл)} = 10 \lg \frac{\alpha}{\alpha - 1}, \quad (3)$$

что не учитывается при разработке усилителей. Потери в основном обусловлены длиной материала и качеством электродинамической системы.

Необходимо отметить, что в КУ обычно применяются кристаллы с оптимальной концентрацией парамагнитной примеси ($C_{опт}$), при которой значение коэффициента инверсии максимально. Для рубина $C_{опт} \approx 0.02\% Cr^{3+}$, а $I \approx 1,8$ при $T = 4,6K$ для данной схемы накачки.



Зависимость коэффициента усиления ВКУ от длины образца: 1 — по формуле (3); 2—4 — по формуле (1) при разных значениях концентрации примеси.

Предполагая линейную зависимость потерь усилителя от длины образца, представим (3) в единицах длины (кривая 1 на рисунке). Тогда для данного ВКУ с оптимальной концентрацией активного вещества существует оптимальная длина ($l_{опт}$), при которой усиление максимально, что определяется точкой пересечения кривых $G(l_k)$, полученных по формулам (1) и (3). Как видно из рисунка, дальнейшее увеличение коэффициента усиления данного ВКУ возможно лишь при применении образцов с $C > C_{опт}$, т. е. при низких значениях магнитной добротности Q_m . Однако с увеличением концентрации примеси усиливаются спин-спиновые взаимодействия между парамагнитными частицами, приводя к уширению линии и увеличению скоростей ре-

лаксации между уровнями энергии иона, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента инверсии. Но названные параметры существенно не ухудшаются при увеличении концентрации ионов в $3\div 4$ раза по сравнению с $C_{\text{опт}}$ [4, 5], что дает возможность применения таких образцов в ВКУ. Предельное для данного усилителя усиление ($G_{\text{пр}}$) достигается соответствующим выбором длины (потери усилителя) и концентрации образца. Предельная концентрация Cr^{3+} для рубина, выше которого его применение в ВКУ не целесообразно, составляет $C_{\text{пр}} \approx 0,1\%$, при которой начинают доминировать вышеназванные взаимодействия [4].

Для подтверждения сказанного проведены измерения на образцах рубина с $C \approx 0,02\%$, $0,04\%$ и $0,08\% \text{Cr}^{3+}$, согласно которым для образца с $C \approx 0,08\%$ ширина линии увеличивается менее, чем в 1,5 раза, а скорости релаксации—на $12\div 16\%$ по сравнению с образцом $C = 0,02\% \text{Cr}^{3+}$. При этом $l \approx 1,6$, т. е. в итоге магнитный декремент (2) увеличивается более чем в 2 раза. На этих же образцах реализовано квантовое усиление. На образце с $C \approx 0,02\% \text{Cr}^{3+}$ и $l_k = 10$ см получено 9,2 дБ чистого усиления в полосе частот 240 МГц. Укорачивая длину этого усилителя индиевой вставкой, т. е. уменьшая потери, при $l_k = 7,5$ см и $C \approx 0,08\%$ получено усиление 12,6 дБ в той же полосе, при мощности накачки на образце $P \leq 80$ мВт. При этом переходы накачки насыщались: изменению усиления на 1 дБ соответствовало 2 дБ накачки. Отметим, что в [2] при $C \approx 0,05\% \text{Cr}^{3+}$ и $l_k = 8,7$ см получено 9,6 дБ усиления.

Таким образом, доказана возможность применения концентрированных кристаллов в ВКУ в качестве активных веществ. Показано также, что предельное усиление таких систем достигается выбором соответствующей длины и концентрации образцов, допускаемых потерями усилителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Э. Абрамян, Р. М. Мартиросян, Н. Г. Погосян. Радиотехника и электроника, 24, №1, 191 (1979).
2. C. R. Moore, P. S. Clauts. IEEE Trans, MTT-27, № 3, 249 (1979).
3. S. P. Boughn, E. S. Cheng, D. A. Cottingham, D. I. Fixsen. RSI, 61, № 1, 156 (1990).
4. В. Б. Штейншлейгер, Г. С. Мисежников, П. С. Лифанов. Квантовые усилители (мазеры). М., 1971, с. 432.
5. М. О. Манвелян, Р. М. Мартиросян. Изв. АН АрмССР, Физика, 23, 231 (1988).

ԱԿՏԻՎ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ
ԱԼԻԲԱՍԱՐԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒԺԵՂԱՅՈՒՑԻԶՆԵՐՈՒՄ

Մ. Հ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ, Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Լ. Է. ԱՐԱՂԱՄՅԱՆ

Փորձնական եղանակով ապացուցված է բարձր կոնցենտրացիայով ակտիվ նյութերի օգտագործման հնարավորությունը ալիքատարային քվանտային ուժեղացուցիչներում, ծույց է

տրված, որ ալդպիսի սարքերում սահմանային ուժեղացման մակերես կարելի է ստանալ համապատասխան երկարության և կոնցենտրացիայի նմուշի ընտրությամբ, կախված ուժեղացուցիչի կորուստներից:

ACTIVE MATERIALS UTILIZATION EFFICIENCY IN THE WAVEGUIDE QUANTUM AMPLIFIERS

M. O. MANVELYAN, R. M. MARTIROSYAN, L. E. ABRAHAMYAN

We have proved experimentally the possibility of high-concentration paramagnetic crystals utilization as active materials in the waveguide quantum amplifiers. The largest gain area of such systems is shown to be attained by a corresponding selection of samples length and concentration, depending on operation losses in the amplifier.