

чем при  $\gamma = 0$ , но массовый выход алмаза при  $\gamma = 0,02$  на начальном этапе синтеза меньше, чем при  $\gamma = 0$ .

Таким образом, введение в реакционную систему добавок высокодисперсного неграфитированного углеродного материала оказывает влияние как на стадию зародышеобразования алмаза, так и на рост кристаллов алмаза. Само это обстоятельство связано с тем, что зародышеобразование в рассматриваемой системе происходит не путем гомогенного или гетерогенного (на ядрах конденсации) образования критического зародыша, а связано с флуктуационным или мертенситным переходом кристаллитов графита в зародыши алмаза, способные к дальнейшему росту.

Московский институт стали и сплавов  
Институт физической химии  
Академии наук СССР, Москва

Поступило  
30 IX 1986

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касаточкин В.И., Штернберг Л.Е., Слесарев В.Н., Недошивин Ю.Н. — ДАН, 1970, т. 194, № 4, с. 801–804.
2. Федосеев Д.В., Дерягин Б.В. — Колл. журн., 1979, т. 41, № 4, с. 750–755.

УДК 621.378.5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А.А. ЛАВРИНОВИЧ, Т.А. СМЕРНОВА, Н.Т. ЧЕРПАК,  
академик АН УССР В.П. ШЕСТОПАЛОВ

### МАЗЕРНОЕ УСИЛЕНИЕ В СРЕДНЕВОЛНОВОЙ ЧАСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С РАСШИРЕННОЙ МГНОВЕННОЙ ПОЛОСОЙ

В последнее время получены заметные результаты по созданию квантовых парамагнитных усилителей (КПУ) — твердотельных мазеров в миллиметровом диапазоне волн [1], по расширению мгновенной полосы усиления в КПУ с бегущей волной (БВ) [1] и в КПУ с отраженной волной (ОВ) [2] в указанном диапазоне. Однако вопрос о дальнейшем расширении полосы усиления в КПУ остается актуальным [1, 3].

Недостатком КПУ ОВ является необходимость использования качественных кристаллов большой длины ( $l > 10\lambda$ ). Таким кристаллом в настоящее время, по-видимому, может быть только рубин ( $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$ ). Достоинствами КПУ БВ является внутренняя невзаимность усиления, приводящая к большой стабильности прибора, и возможность создания компактной электродинамической структуры с короткими активными кристаллами ( $l \approx 3\lambda$ ), что важно при использовании несинтезируемых или трудносинтезируемых активных кристаллов (андалузит, изумруд).

В работе впервые сообщается о мазерном усилении в полосе частот  $\Delta f_{1/2}$  (по уровню 3 дБ), превышающей 200 МГц в КПУ БВ средневолновой части миллиметрового диапазона. Работа является развитием ранее проведенных исследований, в основу которых положены новые для КПУ БВ вещества: андалузит с ионами трехвалентного железа ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5 : \text{Fe}^{3+}$ ) и текстурованный гексаферрит W-типа, расположенные в периодической замедляющей структуре [4].

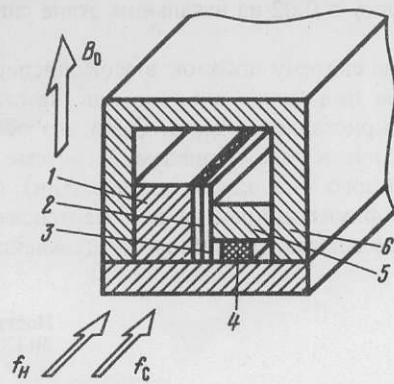
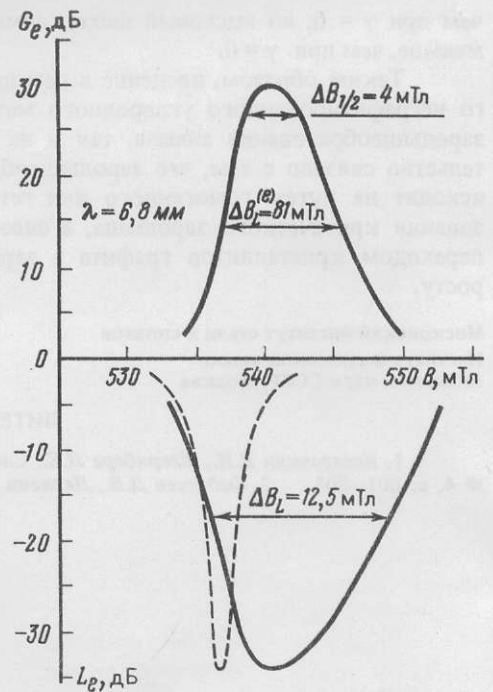


Рис. 1. Замедляющая структура квантового усилителя: 1 – активный кристалл; 2 – штыревая гребенка; 3 – диэлектрическая пластинка ( $Al_2O_3$ ); 4 – ферритовый элемент; 5 – дополнительная диэлектрическая пластинка ( $Al_2O_3$ ); 6 – металлический экран структуры

Рис. 2. Линии ЭПР поглощения  $L_e$  и усиления  $G_e$  в замедляющей структуре квантового усилителя. Штриховая линия – ЭПР поглощения в однородном поле с соответствующей нормировкой по интенсивности



С целью расширения полосы в КПУ БВ введена поперечная распределенная расстройка статического магнитного поля в объеме активного кристалла. При этом использован эффект нарушения однородности магнитного поля гексаферритовым элементом, одновременно выполняющим роль невзаимного элемента (рис. 1).

Степень расстройки поля зависит от расстояния активного кристалла до ферритового элемента, размеров и формы последнего. Основные соотношения для характеристик усилителя с расширенной полосой приобретают вид

$$\Delta f_{1/2} = k \Delta f_L^{(e)} \sqrt{\frac{3}{G_e - 3}};$$

$$G = 27,3 \frac{l}{\lambda} s d_m \left( \frac{1}{n} - \frac{d}{d_m} \right),$$

где  $G_e = 27,3 \frac{l}{\lambda} s \frac{d_m}{n}$  – коэффициент электронного усиления (в дБ);  $\Delta f_L^{(e)}$  – ширина линии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в режиме излучения ( $\Delta f^{(e)} < \Delta f_L$ );  $G$  – коэффициент усиления (в дБ);  $l$  – длина активного кристалла;  $\lambda$  – длина волны сигнала в свободном пространстве;  $s$  – замедление по групповой скорости;  $d_m$  – ”отрицательный” магнитный декремент;  $d$  – декремент волны, обусловленный потерями в замедляющей структуре;  $n$  – уменьшение интенсивности линии ЭПР в неоднородном магнитном поле;  $k$  – коэффициент уширения линии ЭПР, при этом  $k \geq n$  (если линия при уширении остается лоренцевой, то  $k = n$ ).

Можно показать, что при постоянной длине кристалла  $l$  и заданном усилении  $G$  полоса усиления  $\Delta f_{1/2}$  расширяется в неоднородном поле только за счет

повышения замедления  $s$ . В данной работе по сравнению с [1, 4] замедление повышено в 2 раза, т.е. доведено до значения  $s = 40$ . Существенно, что значение  $d$  при этом заметно не возросло; это указывает на возможность дальнейшей оптимизации характеристик усилителя.

Второй существенной особенностью является инверсия населенностей уровней энергии в широкой полосе частот (или широком интервале значений магнитного поля при фиксированной частоте сигнала с монохроматической накачкой (рис. 2)). Это позволяет использовать для накачки генераторы дифракционного излучения, отличающиеся повышенной стабильностью, но имеющие узкую полосу электронной перестройки [5, 6]. Накачка осуществлялась в двухмиллиметровом диапазоне, выходная мощность генератора достигала 1 Вт.

Уширение линии ЭПР превышает значение  $K = 5$  (в однородном магнитном поле  $\Delta B_L = \Delta B_L^{(e)} = 2,2-2,3$  мТл или  $\Delta f_L = 150$  МГц в единицах частоты). Из рис. 2 видно, что линия ЭПР инвертирована полностью, однако ширина последней  $\Delta B_L^{(e)} = 8,1$  мТл заметно меньше ширины линии ЭПР  $\Delta B_L = 12,5$  мТл без накачки, что объясняется неоднородным характером уширения линии. В данных условиях полоса усиления составляет  $\Delta f_{1/2} = 240$  МГц при значении  $G_e = 30$  дБ. Потери сигнала в замедляющей структуре и волноводах меньше 10 дБ. Усиление наблюдалось при температуре замедляющей структуры с активным кристаллом 1,7 К. Полученная полоса усиления КПУ БВ в несколько раз больше полосы усиления резонаторного усилителя [7].

Таким образом, без увеличения длины активного кристалла получено мажорное усиление в полосе частот, расширенной более чем в 1,5 раза по сравнению с [1, 4]. Имеется резерв для дальнейшего расширения  $\Delta f_{1/2}$  путем использования распределенной по частоте накачки [8] или применения дополнительных монохроматических источников накачки с вполне определенной разностью частот излучения.

Институт радиофизики и электроники  
Академии наук УССР, Харьков

Поступило  
23 IX 1986

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черпак Н.Т. — Изв. вузов. Радиофизика, 1984, т. 27, № 7, с. 815–851.
2. Абрамян Л.Э., Ахумян А.А. и др. Тез. докл. XVII Всес. конф. "Радиоастрономическая аппаратура". Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1985. 417 с.
3. Еру И.И., Мышенко В.В., Песковацкий С.А. — Изв. вузов. Радиофизика, 1983, т. 26, № 12, с. 1603–1605.
4. Черпак Н.Т., Смирнова Т.А., Мышенко В.В. и др. — Радиотехника и электроника, 1982, т. 27, № 9, с. 1804–1812; Черпак Н.Т., Смирнова Т.А. — IEEE Trans. Microwave Theory Techn., 1983, vol. MTT-31, № 3, p. 306–309.
5. Ревин И.Д., Скрынник Б.К., Черпак Н.Т., Шестопалов В.П. Генераторы дифракционного излучения в квантовой радиофизике миллиметрового диапазона волн. Препринт № 267. Харьков, 1985. 30 с.
6. Шестопалов В.П. Физические основы мм и субмм техники. Киев: Наук. думка, 1985, т. 2. 256 с.
7. Блинов А.К., Мышенко В.В., Песковацкий С.А., Шульга В.М. Тез. докл. XVII Всес. конф. "Радиоастрономическая аппаратура". Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1985. 417 с.
8. Ray R.D. — Proc. IEEE, 1965, vol. 53, № 3, p. 318–320.