

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Релятивистская астрофизика. М., «Наука», 1967.
2. Jacobs K. *Astroph. J.*, 153, 1, 1968.

Поступила в редакцию
25.9 1970 г.

Кафедра
теоретической физики

УДК 538.56 : 530.145

В. И. БОРИСЕНКО, В. Б. БАГЛИКОВ, В. Н. ПАРЫГИН ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯТОРА ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛЕ GaAs

Кристаллы арсенида галлия — наиболее перспективный материал для создания оптических модуляторов ИК-диапазона. Их изучению посвящено много работ (см., например, [1—5]). Однако зависимость электрооптической константы от частоты электрического поля рассмотрена лишь в одной из них [1], причем приведенные автором результаты противоречивы.

В данной работе исследовалась частотная зависимость эффективной электрооптической константы высокоомных монокристаллов GaAs в диапазоне 0—10 Мгц и на частоте 370 Мгц при длине волны ИК-излучения 3,39 мк. Вследствие слабой дисперсии электрооптических свойств GaAs [1, 2] результаты должны быть справедливы во всей области прозрачности кристалла (0,9—16) мк. Нами использовался кристалл GaAs, легированный Fe размером 11,5 × 3 × 3 мм. Сопротивление образца постоянному току составляло около 100 Мом. Излучение распространялось по оси [111], электрические векторы излучения и модулирующего электрического поля направлялись на ось [011]. При этом сдвиг фаз между двумя ортогонально поляризованными компонентами света равен

$$\Gamma = 2\pi \sqrt{\frac{2}{3}} n_0^3 r_{41} \frac{l}{d} \frac{V}{\lambda},$$

где $n_0^3 r_{41}$ — эффективная электрооптическая константа, l — длина кристалла, d — толщина.

В качестве источника излучения использовался He—Ne лазер. Из-за потерь на отражение пропускание образца составляло около 50%. За кристаллом располагался дихроичный анализатор из CaCO_3 , плоскость поляризации которого была перпендикулярна плоскости поляризации излучения лазера. В качестве фотоприемника использовалось фотосопротивление Ga : Au.

Амплитудная характеристика такого модулятора имеет вид

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Gamma}{2}.$$

На рис. 1 приведена полученная экспериментально статическая характеристика модулятора. Вычисленное по ней значение эффективной электрооптической константы равно $r_{\text{эфф}} = n_0^3 r_{41} = (4,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-9}$ см/в, что хорошо согласуется с данными, приведенными в работах [1—5].

При измерениях в диапазоне 0,32 кгц — 10 Мгц рабочая точка выводилась на линейный участок статической характеристики при помощи слюдяной пластинки $\lambda/4$, помещаемой между лазером и кристаллом. Модулирующее напряжение подавалось с генераторов ГЗ-7А и ГЗ-41. В качестве регистрирующих устройств использовались селективный микровольтметр В6-2 (в диапазоне 0,32—200 кгц), спектральный анализатор С4-8 (в диапазоне 200 кгц — 2 Мгц), гомодинный приемник (в диапазоне

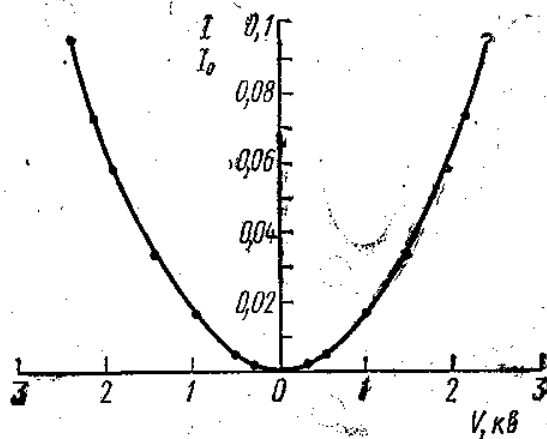


Рис. 1. Статическая характеристика модулятора

2—10 Мгц). Зависимость $r_{эфф}$ от частоты модулирующего поля изображена на рис. 2. В диапазоне частот 0,32—400 кгц $r_{эфф} = (4,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-9}$ см/в, что приблизительно совпадает со значением $r_{эфф}$ на постоянном токе. Основной пьезорезонанс наблюдался на частоте 660 кгц. Ход кривой вблизи пьезорезонанса определяется системой крепления кристалла. В диапазоне частот 0,9—10 Мгц $r_{эфф} = (6,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-9}$ см/в, что в 1,45 раза больше значения $r_{эфф}$ на постоянном токе. Такой ход кривой связан с разными знаками первичного и вторичного электрооптических эффектов на частотах ниже пьезорезонансной.

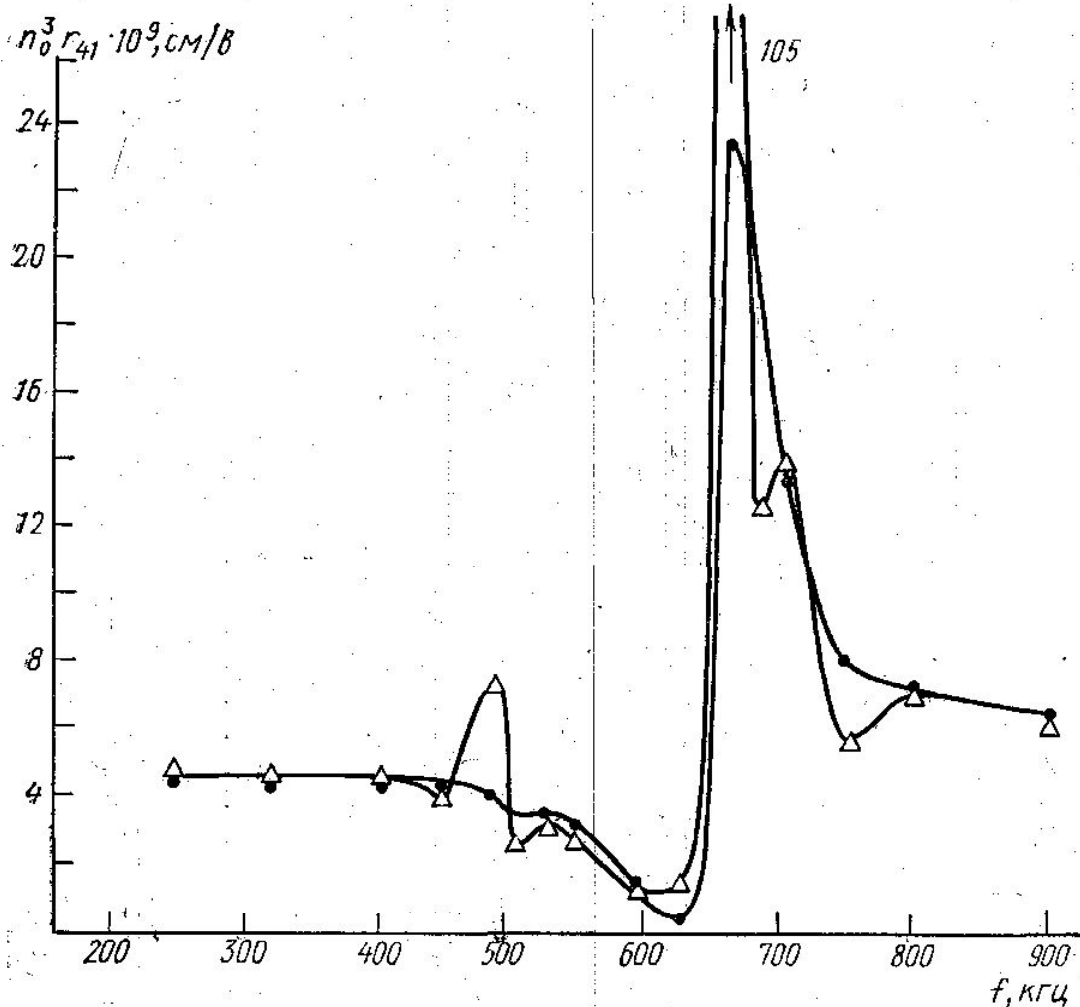


Рис. 2. Зависимость эффективной электрооптической константы от частоты модулирующего поля вблизи частоты пьезорезонанса: Δ — незакрепленный кристалл, \bullet — кристалл, залитый парафином

При измерении $r_{эфф}$ на частоте 370 Мгц кристалл помещался в емкостный зазор тороидального резонатора. Импульсы СВЧ с частотой повторения 1 кгц и скважностью два создавались генератором ГС-6. Согласование резонатора с генератором контролировалось при помощи измерительной линии. Добротность резонатора без кристалла была высокой ($Q=1200$ на частоте 395 Мгц), поэтому добротность резонатора с кристаллом ($Q=180$) определялась потерями в кристалле. Хорошая теплопроводность образца GaAs позволяла использовать значительные средние потребляемые мощности. При мощности в импульсе $P_{имп} = 10,5$ вт глубина модуляции составляла $\Gamma=0,22$. Величина $r_{эфф}$, рассчитанная по этим данным, равна $(4,2 \pm 0,8) \cdot 10^{-9}$ см/в и примерно совпадает со значением на постоянном токе. Тангенс угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q} \cdot \frac{C_{\Sigma}}{C_{\text{GaAs}}} = 0,76 \cdot 10^{-2}, \quad \text{где } C_{\Sigma} \text{ — полная емкость зазора с образцом}$$

(1,75 пф); C_{GaAs} — емкость образца (1,27 пф). Потери возрастают на частоте 370 Мгц примерно на два порядка по сравнению с потерями на постоянном токе.

Качество модулятора $\eta = \frac{\Gamma^2}{P}$, зависящее только от размеров и свойств кристалла, равно $0,46 \cdot 10^{-2}$ рад²/ватт. За счет увеличения отношения l/d может быть получено увеличение качества примерно в 15 раз, дальнейшее увеличение невозможно из-за возрастания дифракционных потерь.

Модулятор с использованием высокоомных монокристаллов GaAs может быть с успехом применен для модуляции ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,9—16 мк при частотах модуляции от нуля по крайней мере до 400 МГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Walsh T. E. RCA Rev., 27, 323, 1966.
2. Yariv A., Mead C. A., Parker J. V. IEEE Journ. of Quant. Electr., QE-2, 243, 1966.
3. Багаев В. С., Берозашвили Ю. Н., Келдыш Л. В. Письма в ЖЭТФ, 4, 364, 1966.
4. Николаев И. В., Засовин Э. А., Коблова М. М. «Радиотехника и электроника», 13, 2265, 1968.
5. Ho L., Bucher C. Appl. Opt., 2, 647, 1963.

Поступила в редакцию
28.9 1970 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 62—50

О. Д. АХМАТОВА, А. С. ПШЕННИКОВ

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Исследование замкнутых линейных систем, содержащих элемент с передаточной функцией $e^{-\sqrt{pT}/T}$ (время распределенного запаздывания), может быть эффективно выполнено на плоскости комплексных частот $p = \delta + j\omega$.

Вычисление переходной характеристики (реакции системы на единичный скачок) с помощью обратного преобразования Лапласа осложняется тем, что функция $e^{-\sqrt{pT}}$ является неоднозначной функцией p . Поэтому при вычислении функции — оригинала $h(t)$ необходимо выбрать ту ветвь изображения $H(p)$, которая удовлетворяет достаточным условиям существования оригинала.

В работе [1] получено выражение для переходной характеристики системы, представленной на рис. 1, а в виде

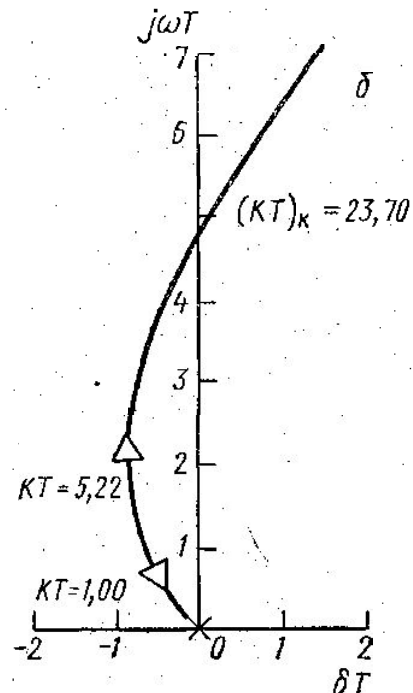
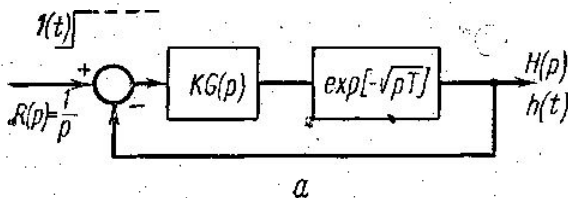


Рис. 1

$$h(t) \approx h_0 + \sum_k \text{Res} [H(p) e^{pt}, pk] - I(t). \quad (1)$$

Здесь h_0 — установившееся значение $h(t)$ при $t \rightarrow \infty$. Во втором члене использованы обозначения $H(p) = \frac{W(p)}{p}$, где $W(p) = \frac{kG(p) e^{-\sqrt{pT}}}{1 + kG(p) e^{-\sqrt{pT}}}$ — передаточная функция