

В случае, когда условия адиабатичности не соблюдаются, электроны неблагоприятной фазы начинают оседать на основание. Это иллюстрирует рис. 2, где приведена зависимость доли электронов, оседающих на электродах, от параметра $\omega_c/\omega D$, который изменялся при расчетах как за счет D , так и за счет ω_c/ω . Видно, что при малых значениях $\omega_c/\omega D$ число электронов, оседающих на основание, может достигнуть значительной величины, и использование адиабатических уравнений приведет к значительным погрешностям.

Необходимо также отметить, что авторы работы [2] считали в адиабатическом приближении нагрузку пучком волноведущей цепи малой и полагали $\Phi(q)=0$. Расчет показывает, что даже при больших значениях $\omega_c/\omega D$ Φ достигает значительной величины (рис. 3).

Таким образом, использование адиабатического приближения и пренебрежение изменением Φ позволяют рассчитывать с допустимой погрешностью лишь интегральные характеристики ЛВВМ (коэффициент усиления, кпд). Для полного решения задачи (определения характера движения электронов и электронной настройки скорости волны), что важно, например, при анализе многочастотного взаимодействия или модуляционных характеристик прибора, необходимо проводить учет $\Phi(q)$ и использовать неадиабатические уравнения движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Роу, Теория нелинейных явлений в приборах СВЧ, Изд. Советское радио, 1969, стр. 615.
2. М. Б. Цейтлин, И. Т. Цицонь, Изв. вузов МВССО СССР (Радиоэлектроника), 1969, 12, 9, 976.
3. А. А. Кураев, Сверхвысокочастотные приборы с периодическими электронными потоками, Изд. Наука и техника, Минск, 1971, стр. 312.
4. Г. Ф. Филимонов, Изв. вузов МВССО СССР (Радиоэлектроника), 1971, 14, 9, 1042.
5. Д. И. Трубецков, Ю. П. Шараевский, Радиотехника и электроника, 1971, 16, 2, 442.

Поступила в редакцию
6 III 1973

УДК 621.385.633

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ ОТ ЧАСТОТЫ

*Б. А. Андреев, С. П. Белов, А. В. Буренин, Л. Н. Герштейн,
А. Ф. Крупнов*

Лампы обратной волны (ЛОВ) в настоящее время являются основными электронными генераторами в субмиллиметровом диапазоне. Поэтому представляет большой интерес исследование их характеристик, в частности, исследование зависимости мощности ЛОВ от частоты*. Необходимо отметить, что на данную зависимость в субмиллиметровом диапазоне часто накладываются искажения, связанные с интерференцией в элементах СВЧ-тракта, что приводит к неопределенности в интерпретации результатов измерений.

Нами проведено детальное исследование зависимости мощности субмиллиметровой ЛОВ типа [1] от частоты, когда влияние интерференционных эффектов в СВЧ-трактах по возможности ослаблено. Для этого использовалась запись вращательного спектра сернистого газа SO_2 , полученная при помощи радиоспектроскопа с акустическим детектором (РАД) [2]. Для малой оптической толщи газа в ячейке РАД ($\gamma l \ll 1$, где γ — коэффициент поглощения газа на единицу длины, l — длина ячейки) поглощаемая мощность равна

$$P = \gamma l P_{(\text{лов})}.$$

Величина выходного сигнала спектрографа пропорциональна P и, следовательно,

$$P_{(\text{лов})} = K \frac{A}{\gamma},$$

где A — величина выходного сигнала; K — константа, определяемая характеристиками РАД, не зависящая от частоты.

* Типовые зависимости мощности ЛОВ от частоты, снятые с малым разрешением, приведены в [1].

для
ния
тра
расс
любе
] зав

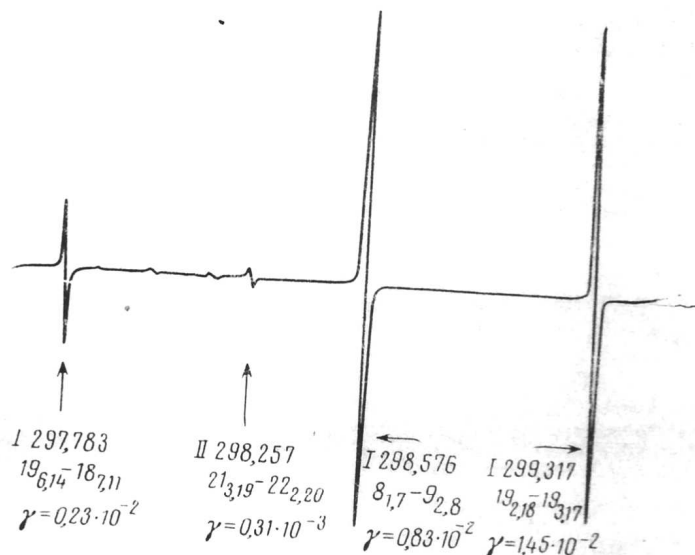


Рис. 1. Участок записи спектра в диапазоне 297–299 ГГц. Рядом с линиями указаны: цифрами I, II – принадлежность к спектру $^{32}\text{S}^{16}\text{O}_2$, $^{34}\text{S}^{16}\text{O}_2$ соответственно; частота перехода в ГГц; идентификация перехода; значение коэффициента поглощения в см^{-1}

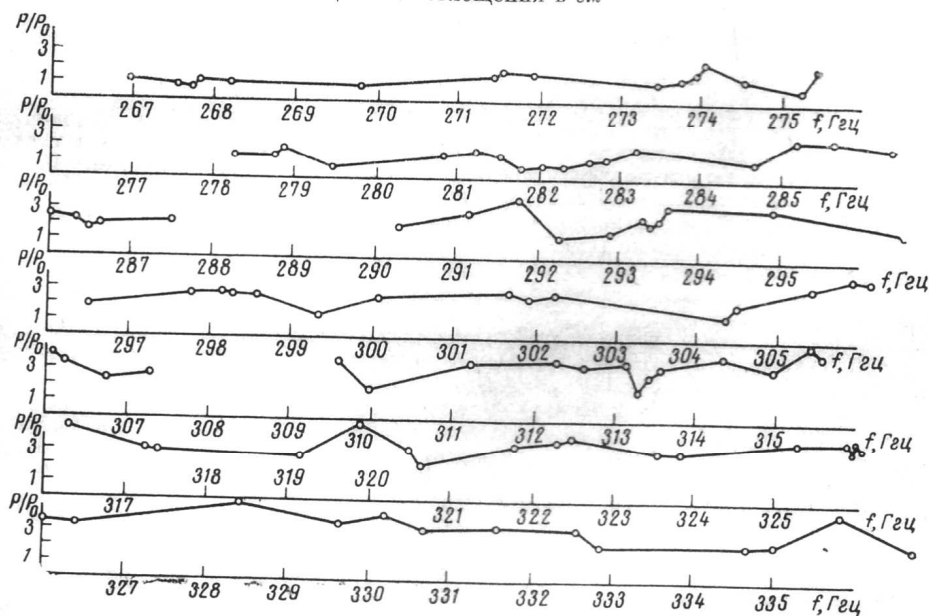


Рис. 2. График зависимости мощности ЛОВ от частоты в диапазоне 267–336 ГГц

В диапазоне частот от 267 до 336 ГГц было идентифицировано и использовано для определения зависимости $P_{\text{лов}}(f)$ более 100 спектральных линий, т. е. измерения проводились в среднем через 0,5 ГГц. На рис. 1 приведена запись участка спектра SO_2 от 321 до 324 ГГц. Частоты и интенсивности (коэффициенты поглощения) рассчитывались нами при помощи ЭВМ; использовались также таблицы спектра SO_2 , любезно предоставленные д-ром Г. Стеенбеккельерсом.

Полученная при помощи записи спектра и расчета коэффициентов поглощения γ зависимость $P_{\text{лов}}(f)$ приведена на рис. 2. Зависимость представляется довольно

плавной, что несколько неожиданно для каждого практически работавшего с суб-миллиметровыми ЛОВ при наличии СВЧ-тракта и СВЧ-детектора. Наблюдающиеся в этих условиях крутые зависимости обусловлены, по-видимому, интерференцией в СВЧ-элементах, а не собственно ЛОВ. Максимальная отмеченная на графике крутизна зависимости мощности от частоты (вблизи 313 Гц) составляет 10^{-2} Мгц^{-1} (т. е. при изменении частоты на 1 Мгц мощность меняется на 1%); для большинства участков крутизна меньше примерно на порядок.

В заключение отметим, что для получения графика, приведенного на рис. 2, потребовался всего 1 час работы ЛОВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Б. Голант, Р. Л. Виленкин, Е. А. Зюлина, З. Ф. Каплун, А. А. Негирев, В. А. Парилков, Т. Б. Реброва, В. С. Савельев, Приборы и техника эксперимента, 1965, 4, 136; М. Б. Голант, З. Т. Алексеенко, З. С. Короткова, Л. А. Лункина, А. А. Негирев, О. П. Петрова, Т. Б. Реброва, В. С. Савельев, Приборы и техника эксперимента, 1969, 3, 231.
2. А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, В. Г. Шустров, С. П. Белов, Изв. вузов МВССО СССР (Радиофизика), 1970, 13, 1403; А. Ф. Крупнов, 2-й Международный семинар по инфракрасной спектроскопии высокого разрешения, Тезисы докладов, Прага, 1972.

Поступило в редакцию
31 VIII 1973

УДК 621.373.5

МЕЖДОЛИННЫЙ ПЕРЕНОС И ДРЕЙФОВАЯ СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ в $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$

Э. Д. Прохоров, Н. Н. Белецкий

Развитие генераторов на основе эффекта Ганна требует поиска новых полупроводниковых материалов, которые пригодны для разработок диодов Ганна и которые по каким-либо параметрам могли бы превосходить наиболее широко применяемый в настоящее время материал — арсенид галлия. В этом плане целесообразно исследовать и $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$, на диодах из которого экспериментально наблюдалась генерация Ганна [1], но оценок основных характеристик — зависимости дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля с изменением состава — проведено до настоящего времени не было. Ниже приведен теоретический анализ таких характеристик $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$.

Из экспериментов по исследованию ганновской генерации на основе $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ следует [1], что основную роль в изменении зависимостей $V(E)$ играет энергетический зазор между центральной Г-долиной и боковыми Х-долинами (рис. 1). Однако с изменением состава сплава меняются не только энергетические зазоры, но и другие параметры материала (это относится к энергиям фононов, эффективным массам электронов и т. д.). При изменении процентного содержания фосфора в сплавах $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ от 0 до 100% идет постепенный переход от GaAs к GaP. Поскольку для переходных сплавов значения параметров неизвестны, нами в расчетах приняты линейные аппроксимации изменения параметров материалов с изменением x с известными конечными значениями для GaAs и GaP (все параметры приведены в таблице, где \mathcal{E}_g — ширина запрещенной зоны, $\Delta_{\Gamma\text{X}}$ — энергетический зазор между Г- и Х-долинами, остальные обозначения общепринятые).

Структура зоны проводимости $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ показана на рис. 1. С увеличением содержания фосфора в сплаве Х-минимум смещается относительно Г-минимума. Состав сплава, при котором положения Г- и Х-минимумов по энергии равны, соответствует 44% фосфора [2]. При больших концентрациях фосфора Х-минимумы наименьшие по энергии. Поскольку в расчетах величина энергетического зазора определяется как $\Delta_{\Gamma\text{X}} = \Delta_{\text{X}} - \Delta_{\Gamma}$ (рис. 1, Δ_{Γ} и Δ_{X} — энергии минимумов Г- и Х-долин, отсчитанные от произвольного уровня), то при $x < 0,44$ $\Delta_{\Gamma\text{X}} > 0$ и при $x > 0,44$ $\Delta_{\Gamma\text{X}} < 0$ (см. таблицу). Что касается остальных величин, то их значения взяты из литературы [3, 4]. Значения константы взаимодействия и деформационного потенциала для GaP неизвестны, поэтому они взяты для переходных сплавов примерно равными значениями для GaAs. Что касается долин в направлениях $[111]$ — L-долин —, то в GaAs они находятся по энергии выше Х-долин, в переходных сплавах они также оказываются по энергии выше Х-долин и обладают меньшим коэффициентом связи с центральной доли-