

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ГЕНЕРАТОР МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН С КВАЗИОПТИЧЕСКИМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

А. Я. Кириченко, В. А. Солодовник, С. Н. Харьковский

Диэлектрические интегральные схемы (ДИС) открывают новые возможности в освоении коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн [1, 2]. Одной из ключевых проблем их развития является создание активных устройств, адекватных по электродинамическим свойствам ДИС как открытой электродинамической структуре. Сложность заключается в том, что внесение в открытую диэлектрическую структуру локального полупроводникового элемента приводит к ненаправленному излучению волн. В описываемом ниже генераторе полупроводниковый диод (в перспективе диоды) возбуждает открытую диэлектрическую

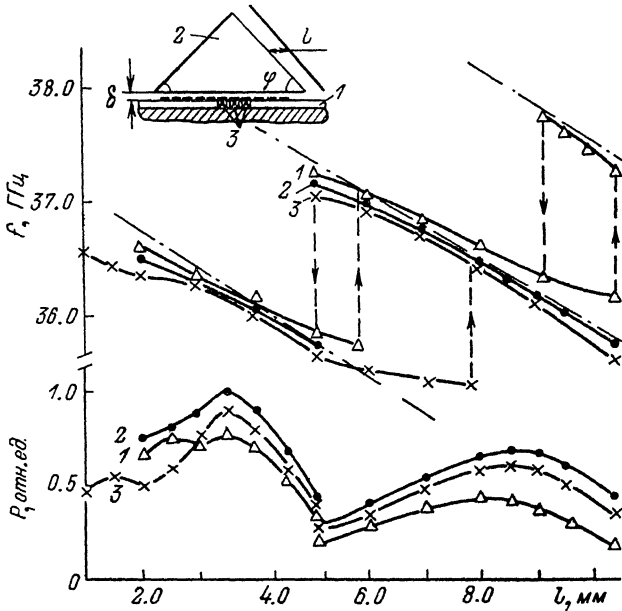


Рис. 1.

резонансную систему, образующую распределенную обратную связь (РОС) через высокодобротный квазиоптический диэлектрический резонатор. В отличие от работы [3], где теоретически рассматривается туннельная РОС в оптическом волноводе, здесь учитывается современное состояние полупроводниковой СВЧ электроники, а именно широкое использование дискретных активных элементов (диодов Ганна, ЛПД).

Рассматриваемый генератор (рис. 1, вставка) содержит отрезок зеркального прямоугольного диэлектрического волновода (ДВ) 1 с периодической системой металлизированных поперечных неоднородностей по его широкой грани, квазиоптический диэлектрический резонатор (ДР) 2 в виде прямой трехгранной призмы с длиной грани не менее десяти длин волн, возбуждаемых в нем. Одна грань резонатора параллельна широкой грани волновода, и прицельное расстояние между ними δ можно менять в пределах длины волны в свободном пространстве. Боковые грани металлизированы, причем на одной из них установлена металлическая пластина с возможностью перемещения ее параллельно этой грани. Один или несколько активных диодов 3 располагаются в ДВ на металлическом основании под металлическими неоднородностями.

Проблема связи диодов с ДВ и квазиоптическим ДР решается в устройстве совместно с использованием излучения с места включения диодов. Это возможно при осуществлении РОС одновременно и взаимосвязанно по двум каналам: 1) за счет направленного излучения электромагнитной энергии с места включения диодов с помощью периодической системы и 2) за счет нарушения эффекта полного внутреннего отражения (подобно [3]). Для этого

необходимо, чтобы эффективные диэлектрические проницаемости волновода ε_2 и резонатора ε_3 , угол при основании треугольника в основании призмы φ , а также период системы d и длина волны в свободном пространстве λ были связаны соотношениями

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{\sin^2 \varphi}, \quad (1)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sqrt{\varepsilon_1}}, \quad (2)$$

которые получаются при совместном удовлетворении условий для вытекающих волн [4], дифракционного излучения [5] из диэлектрического волновода с периодической решеткой и обратного отражения излучаемых волн от металлизированных граней призмы.

Эксперимент проводится в восьмимиллиметровом диапазоне длин волн. Квазиоптический ДР и ДВ выполнены из фторопласта-4. Серийный диод Ганна типа АА728В размещается в отверстии ДВ в центре грани ДР.

При измерении парциальных частот резонансной системы ДВ—квазиоптический ДР диэлектрический волновод запитывается через согласованный переход внешним генератором в режиме свипирования частоты при выключенном питании диода. Такой способ обеспечивает преимущественное возбуждение в ДР колебаний, у которых вектор электрического поля параллелен основаниям призмы. Сетка парциальных резонансных частот исследуемой системы измеряется при нулевом расстоянии l между гранью призмы и металлической пластиной. Разнос частот составляет ~ 1.9 ГГц.

На рис. 1 штрихпунктирными линиями показана перестройка двух парциальных частот квазиоптического ДР, возбуждаемого ДВ, при изменении l в случае критической связи ($\delta \sim 3.0$ мм). Здесь же сплошными линиями приведены зависимости частоты f и мощности P генерации от расстояния l при разных напряжениях питания U диода в случае перегруженной связи ДВ и ДР ($\delta \sim 0$) (U , В: 1 — 2.8, 2 — 3.4, 3 — 3.8). Зависимость мощности P от l показана при движении металлической пластины в одну сторону — к грани.

Видно, что внутри каждой зоны генерации контролируется определенным типом колебаний в резонансной системе ДВ—квазиоптический ДР. Это подтверждает и исследование полей в работающем генераторе. Перестройка частоты генерации внутри зон составляет $\sim 2-4\%$ и ограничена сверху и снизу перескоками частоты в соседние зоны генерации, которые в основном носят гистерезисный характер. Некоторое различие характеристик частоты и мощности генерации в разных зонах (характер изменения частоты генерации относительно парциальной частоты резонансной системы, величина максимальной мощности) объясняется различием в величине связи между ДВ и ДР в них. Дело в том, что поперечная ограниченность металлической пластины, осуществляющей механическую перестройку ДР, приводит к росту дифракционных потерь при увеличении расстояния l , т. е. к уменьшению добротности ДР.

На рис. 2 приведены характеристики электронной перестройки частоты f и мощности P генерации при различных режимах. Наблюдается уменьшение крутизны электронной перестройки и ее непрерывность у генератора с ДР (кривые 1, 2; $l=8.0, 3.5$ мм) по сравнению с генератором без ДР, т. е. при генерации на собственном резонансном контуре диода, образуемом элементами его корпуса и крепления (кривая 3). Это указывает на взаимодействие диода с резонансной системой ДВ—квазиоптический ДР и о повышении стабильности частоты генератора с ДР.

Следует отметить, что характер изменения частоты, ее перескоки определяются не только резонансной частотой квазиоптической резонансной системы, но также зависят от резонансного контура, образуемого диодом и элементами его крепления. Это позволяет сделать вывод о том, что оптимизация элементов крепления диодов или соответствующих трансформирую-

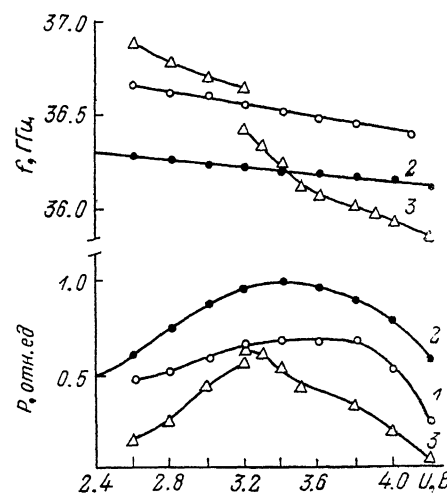


Рис. 2.

щих элементов приведет к расширению механической перестройки частоты генератора и к увеличению мощности его выходного сигнала.

Наличие двух выводов энергии может быть полезно во многих системах с синхронизацией, автоматическим регулированием частоты и др. [6]. Очевидна перспектива сложения мощностей нескольких диодов в рассматриваемой колебательной системе путем размещения их под металлочискими неоднородностями. Можно считать, что полупроводниковые генераторы с квазиоптической диэлектрической резонансной системой найдут применение при создании ДИС миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн.

Авторы благодарны Г. А. Малышеву за изготовление экспериментальных макетов.

Литература

- [1] Itoh T. Microwave J., 1982, v. 25, N 9, p. 113—126.
- [2] Взятыйшев В. Ф. В кн.: Проектирование и применение радиоэлектронных устройств на диэлектрических волноводах и резонаторах. Саратов, 1983, с. 15—18.
- [3] Йогансен Л. В. Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 5, с. 308—311.
- [4] Хансперджер Р. Интегральная оптика. М.: Мир, 1985. 379 с.
- [5] Андренко С. Д., Девятков Н. Д., Шестопалов В. П. ДАН СССР, 1978, т. 240, № 6, с. 1340—1343.
- [6] Lazarus M. J., Davis R. Microwave J., 1985, v. 28, N 3, p. 165—170.

Институт радиофизики
и электроники АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
25 июня 1987 г.

УДК 539.4 : 678.067

Журнал технической физики, т. 58, в. 11, 1988

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ВОЛОКНИСТОМ КОМПОЗИТЕ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

И. Н. Жданова, Д. Н. Карпинский

Известно, что в нагруженных волокнистых композитах (ВК) наблюдается длительная стадия объемного разрушения (многократное дробление волокон), при этом разрывы волокон вызывают в матрице структурные изменения, размеры которых сравнимы с расстоянием между волокнами [1]. Цель настоящей работы заключается в иллюстрации взаимодействия очагов разрушения и их влияния на накопление повреждений в нагруженном ВК.

Рассмотрим цилиндрический образец ВК длины L , армированный однонаправленными непрерывными волокнами с гексагональной упаковки. Расстояние между ближайшими соседними волокнами $l = \sqrt{7/6} \sqrt{3} \cdot d_f \sqrt{\pi/v_f}$, где d_f — диаметр волокна, а v_f — объемная доля волокон. Образец ВК растягивается вдоль направления волокон постоянной нагрузкой σ_0 при постоянной температуре T . Растягивающее напряжение в волокнах и матрице определяется формулами

$$\sigma_f = \frac{\sigma_0}{\sigma_f + E_m v_f / E_f}, \quad \sigma_m = \frac{\sigma_0}{v_m + E_f v_f / E_m},$$

где $v_m = 1 - v_f$, а E_f и E_m — модули Юнга волокон и матрицы соответственно. Кинетика накопления повреждений волокон, учитывающая корреляцию мест разрывов моделировалась аналогично [2, 3]. В этих работах процесс дробления волокон рассматривался как ветвящийся процесс, при этом в [2] учитывались лишь корреляции мест разрывов вдоль одного волокна, а в [3] предполагалась также корреляция мест разрывов соседних с разорванным волокон за счет их перегрузки. В данной работе дополнительно учтена перегрузка соседних волокон из-за трещин в матрице, возникших при разрывах волокон.

При разрыве волокна длиной x на расстоянии ξ от одного из концов волокна выделяется энергия

$$\delta E = E(x) - E(\xi) - E(x - \xi),$$

где

$$E(x) = \frac{\pi d_f^2}{8 E_f} \int_0^x \sigma(z) dz, \quad \sigma(z) = \sigma_f \left[1 - \operatorname{ch} K \left(\frac{z - \frac{x}{2}}{d_f} \right) \right] \operatorname{ch} K \frac{x}{d_f},$$