

УДК 621.383.52:546.48'49'24:537.311.33

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ГЕНЕРАЦИЯ ВЧ-КОЛЕБАНИЙ В ФОТОДИОДАХ ИЗ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

К. О. Болтарь, Л. А. Бовина, Л. Д. Сагинов, В. Н. Соляков, В. И. Стафеев

Государственное унитарное предприятие
«Научно-производственное объединение "Орион"», Москва, Россия

Экспериментально исследована отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП) вольт-амперной характеристики (ВАХ) $p-n$ -переходов в КРТ и генерация ВЧ-колебаний в этой структуре. Показана возможность прямого преобразования энергии светового излучения в энергию ВЧ-колебаний.

В [1] обнаружено отрицательное дифференциальное сопротивление в монокристаллах кадмия—ртути—теллура. В настоящей работе исследуется отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП) вольт-амперной характеристики (ВАХ) $p-n$ -переходов в КРТ.

Исследования проводились с фотодиодами из соединения $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x = 0,3$. p -переходы формировались ионной имплантацией бора в подложку КРТ p -типа проводимости. Площадь p - n -перехода составляла 200×200 мкм². Измерения проводились при охлаждении образцов жидким азотом до $T = 80$ К. ВАХ диодов в темновых условиях имели форму, характерную для туннельных диодов [2] с участком отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП). Величина тока в пике составляла $I_p = 400$ – 700 нА, напряжение пика $U_p = 50$ – 70 мВ, напряжение минимума $U_v = 90$ – 95 мВ; величина ОДП — $(3,5$ – $10) \cdot 10^{-8}$ Сим.

Исследуемые диоды обладали фоточувствительностью, спектральная характеристика которой представлена на рис. 1. Длинноволновая граница фоточувствительности составляла $5,3$ мкм, максимум фоточувствительности наблюдался на длине волны $4,9$ мкм. Ампер-ваттная чувствительность находилась в пределах $2,5$ – 3 А/Вт, что соответствовало квантовой эффективности $0,8$ – $0,75$. Удельная обнаружительная способность равнялась $(9$ – $11) \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹·см·Гц^{-1/2}. Наличие фоточувствительности в исследованных образцах туннельных диодов дает основание называть их туннельными фотодиодами.

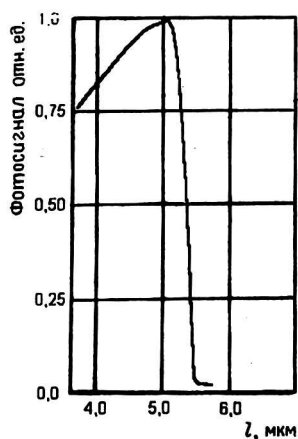


Рис. 1. Спектральная характеристика фоточувствительности фотодиодов

При освещении туннельных фотодиодов фоновым излучением комнатной температуры вольт-амперные характеристики смещались вдоль оси токов на величину фототока. При этом участок с ОДП перемещался в область отрицательных токов. В работах [3, 4] рассмотрена такая ситуация и предложена возможность генерации ВЧ- и СВЧ-колебаний туннельным диодом (ТД) под воздействием светового излучения без подачи внешнего электрического напряжения смещения, т. е. прямого преобразования световой энергии в энергию электрических колебаний. Первые экспериментальные результаты, подтверждающие эту возможность, представлены в [5].

На рис. 2,а,б показаны ВАХ двух p - n -переходов в темновых условиях (кривые 1) и при освещении фоновым излучением комнатной температуры (кривые 2). ВАХ 2 смещена относительно ВАХ 1 оси токов на величину фототока $I_{\text{ф}}$, обусловленного фоновым излучением, и находится в области отрицательных токов. Рис. 2,а и 2,б отличаются соотношением пикового тока I_p и фототока $I_{\text{ф}}$.

Для возбуждения электрических колебаний к диоду подключалась электрическая цепь, содержащая колебательный контур, в которой была предусмотрена возможность раздельной регулировки сопротивления по постоянному и переменному току.

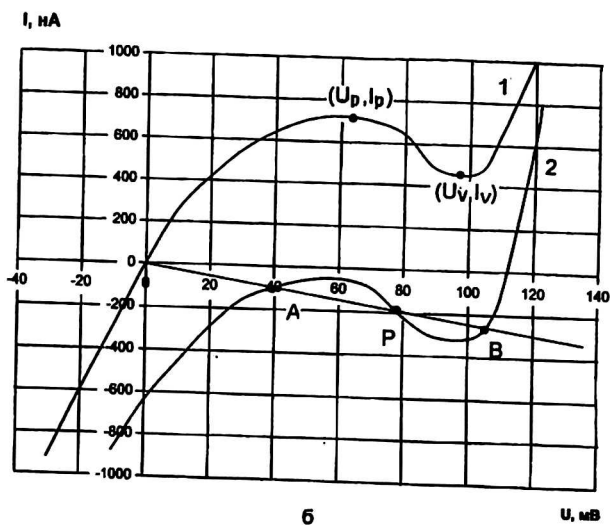
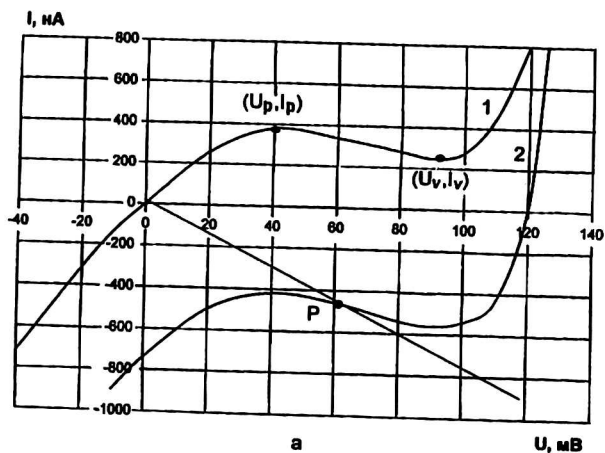


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики КРТ туннельных фотодиодов

Принципиальная схема такой цепи представлена на рис. 3. Регулировкой резистора R_0 изменялось сопротивление цепи по постоянному току. Этим обеспечивалось попадание рабочей точки (P на рис. 2а, б) на участок ОДП. Конденсатор C_0 достаточно большой емкости служит для исключения влияния R_0 на импеданс цепи на резонансной частоте $f_r = 2\pi\sqrt{LC}$. Величина активной проводимости на резонансной частоте определялась добротностью катушки индуктивности L и могла изменяться регулировкой резистора R .

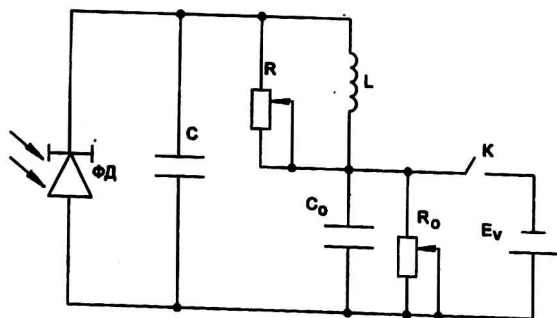


Рис. 3. Схема включения туннельного фотодиода в колебательный контур

В такой цепи наблюдалась генерация на резонансной частоте колебательного контура ~ 150 кГц. Мощность генерируемых колебаний составляла $\sim 1,5 \cdot 10^{-9}$ Вт, что соответствует эффективности преобразования световой энергии в энергию ВЧ-колебаний $\sim 10^{-4}$.

Для туннельного фотодиода, ВАХ которого представлена на рис. 2,б, рабочая точка Р неустойчива относительно флуктуаций постоянного напряжения смещения при малых амплитудах колебаний. Устойчивая генерация колебаний возможна только при достаточно больших амплитудах [3]. Для осуществления генерации в этом случае необходимо подать напряжение смещения на туннельный фотодиод на время нарастания амплитуды автоколебаний. Это может быть реализовано подключением источника напряжения E_0 при помощи ключа К.

Следует отметить, что для случая ВАХ и нагрузочной прямой, представленных на рис. 2,б, имеются два устойчивых состояния (точки А и В). Переход между этими состояниями возможен при подаче импульса напряжения как в случае обычных ТД, так и путем воздействия импульса света. Это явление может быть использовано для создания бистабильных логических устройств, управляемых световыми импульсами. Быстродействие такого рода устройств определяется, как и обычных туннельных диодах, показателем скорости переключения I_p / C [6], где C — емкость $p-n$ -перехода. Для исследованных в настоящей работе туннельных фотодиодов этот показатель составляет $\sim 2 \cdot 10^4$ В/с, что соответствует времени переключения ~ 3 мкс. Это время может быть существенно уменьшено при использовании фотодиодов с повышенными значениями тока I_p . Однако для смещения ВАХ в область отрицательных токов потребуется пропорциональное увеличение интенсивности световых импульсов.

Литература

1. Бовина Л. А., Григорьев В. К., Стафеев В. И., Сычевская Е. А.: Тр. симпозиума по физике плазмы и электрическим неустойчивостям в твердых телах. — Вильнюс: МИНТИС, 1972. С. 198.
2. Esaki L. // Phys. Rev. 1958. V. 109. P. 603.
3. Болтарь К. О., Соляков В. Н., Федирко В. А. // Радиотехника и электроника. 1998. № 23. С. 587.
4. Болтарь К. О., Сагинов Л. Д., Соляков В. Н., Федирко В. А. Способ генерации электрических колебаний: А. с. 1391460.
5. Бовина Л. А., Болтарь К. О., Сагинов Л. Д., Соляков В. Н., Стафеев В. И., Петров И. Н. Отрицательная проводимость в КРТ фотодиодах // Российская конференция по физике полупроводников: Тез. докл. — Н. Новгород. 1993. Т. 1. С. 133.
6. Davis R. E., Gibbons G. // Solid-State Electron. 1967. V. 10. № 4. P. 8461.

NEGATIVE CONDUCTIVITY IN CMT PHOTODIODES

K. O. Boltar, L. A. Bovina, L. D. Saginov, V. N. Soliakov, V. I. Stafeev
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

Current-voltage characteristics of LN2 cooled CMT p-n-tunnel junctions have been investigated. The negative differential conductivity takes place at negative total current due to photocurrent bias. This gives possibility of oscillation without external electric bias.