

06.2

© 1990

РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ В ДИОДАХ С ДВУХ-
БАРЬЕРНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРОЙ
НА ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПОДЛОЖКЕБ.К. М е д в е д е в, В.Г. М о к е р о в,
Ю.В. С л е п н е в, А.А. К а л ь ф а,
А.Р. К р ю к о в

Эффект резонансного туннелирования в гетероструктурах с квантовыми потенциальными ямами находит все большее применение в приборах СВЧ-, ИК- и цифровой электроники, обладающих чрезвычайно высоким быстродействием, малой потребляемой мощностью и широкими функциональными возможностями (см. обзор [1]).

Простейшие из таких приборов - резонансно-туннельные диоды (РТД) на основе двухбарьерной гетероструктуры (ДБГС) перспективны в качестве высокочувствительных детекторов и смесителей приемных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн. Они могут использоваться в качестве переключателей, элементов активной памяти, компараторов с заданным порогом для аналого-цифровых преобразователей и т.д. Как правило, РТД изготавливаются на проводящих подложках для уменьшения паразитных сопротивлений, включенных последовательно активной части структуры. Вместе с тем интеграция РТД в монокристаллические устройства требует использования полуизолирующих подложек, что создает значительные трудности их реализации. Принципиальная возможность наблюдения эффекта резонансного туннелирования в ДБГС на полуизолирующей подложке продемонстрирована в работе [2]. Исследованная структура диода была далека от реальной из-за большого диаметра и большой емкости, ограничивающей быстродействие РТД, а также чрезвычайно малого отношения максимального тока J_{max} к минимальному J_{min} в области отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) при комнатной температуре ($J_{max}/J_{min} \approx 1.1$). Ниже представлены результаты первой приборной реализации РТД на полуизолирующей подложке.

ДБГС, выращенная методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке диаметром 60 мм, образовывалась следующей последовательностью слоев: GaAs полуизолирующая подложка - n^+ -GaAs (концентрация доноров $N_D = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, толщина $d = 1.5 \text{ мкм}$) - n^+ -GaAs (N_D линейно убывает с $2 \cdot 10^{18}$ до $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $d = 60 \text{ нм}$) - i -GaAs ($d = 14 \text{ нм}$) - i -AlAs ($d = 2 \text{ нм}$) - i -GaAs ($d = 4.5 \text{ нм}$) - i -AlAs ($d = 2 \text{ нм}$) - i -GaAs ($d = 14 \text{ нм}$) - n^+ -GaAs (N_D линейно возрастает с $2 \cdot 10^{17}$ до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $d = 6 \text{ нм}$) - n^+ -GaAs ($N_D = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $d = 1.5 \text{ мкм}$). На спектре фотолуминесценции ДБГС (рис. 1) наблюдался пик ($\lambda = 730 \text{ нм}$)

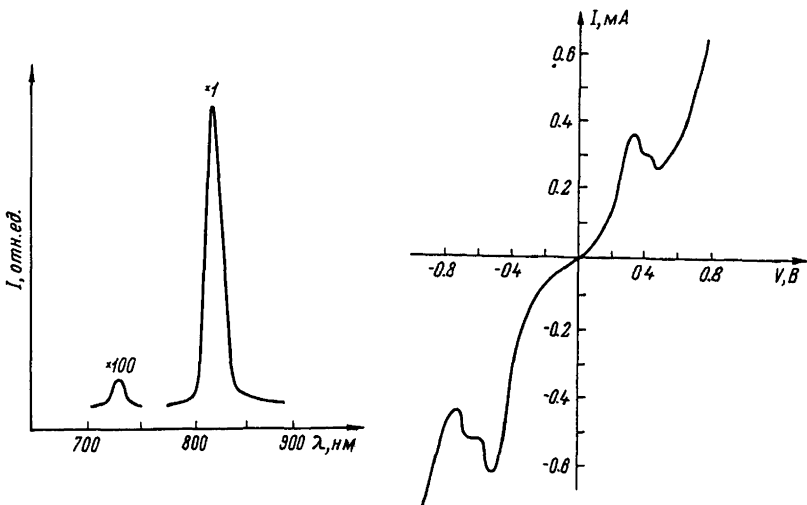


Рис. 1. Спектр фотолюминесценции ДБС при $T=77$ К. Пик на длине волны $\lambda=820$ нм соответствует $GaAs$, а на $\lambda=730$ нм - квантовой яме.

Рис. 2. ВАХ приборной структуры РТД при $T=300$ К.

соответствующий переходу с дискретного уровня в потенциальной яме, что свидетельствовало о хорошем качестве структуры. Косвенным критерием совершенства гетеропереходов служили также электрофизические характеристики гетероструктур с двумерным электронным газом, выращенных при аналогичных технологических условиях, у которых подвижность электронов при температуре $T=4.2$ К достигала $6 \cdot 10^5$ $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

На исходных ДБС формировались два типа мезаструктур - тестовые (площадью 100 мкм^2) и приборные (площадью 25 мкм^2) по следующей технологии. На предварительно очищенные структуры термовакuumным распылением наносился слой металлической композиции $AuGeNi - Au$, который вжигался импульсами некогерентного излучения галогенных ламп накаливания, а затем на этот слой гальванически высаживалось золото. Методом фотолитографии с использованием комплекса фотошаблонов, применяемых для создания сотовых смесительных диодов миллиметрового диапазона длин волн, и последующим ионноплазменным травлением формировались контактные площадки размером 5×5 или $10 \times 10 \text{ мкм}^2$. Далее химическим травлением создавались мезаструктуры такой высоты, чтобы их основание лежало в нижнем n^+ -слое структуры, на который напылялся второй омический контакт, а затем структура разделялась на отдельные кристаллы.

Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилось зондовым методом. Типичные ВАХ приборных диодов, измеренные при температуре 300 К, представлены на рис. 2. Как следует из рисунка, ВАХ асимметричны, что соответствует асимметрии структуры РТД. Величины отношений $J_{max}/J_{min} = 1.55$ и 1.38 в обратной и прямой ветвях ВАХ соответственно. Максимальная ОДП в обратной ветви равна 1.4 мсм. Более высокие, чем в [2], значения J_{max}/J_{min} , по-видимому, связаны с использованием $AlAs$, а не $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ барьеров, что уменьшает термоэлектронную составляющую тока по сравнению с резонансно-туннельной, и более совершенной структурой приконтактных областей. Отметим, что эти результаты достигнуты, несмотря на более развитую периферию мезаструктуры. У тестовых РТД максимальное значение $J_{max}/J_{min} = 1.5$ при $T=300$ К увеличивалось до 2.5 при $T=77$ К.

Достигнутые статические параметры далеки от предельных и могут быть значительно улучшены за счет совершенствования как внутренней структуры РТД, так и технологии изготовления самих диодов. Тем не менее, анализ характеристик РТД на проводящих подложках [3] показывает, что достигнутые результаты достаточны для наблюдения генерации и смещения сигналов СВЧ-диапазона при $T=300$ К.

Авторы благодарны С.В. Матышину за помощь в формировании мезаструктур и Ю.В. Хабарову за измерение спектров фотолюминесценции.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Таггер А.С. // Электронная техника, сер. Электроника СВЧ. 1987. В. 9. С. 21-34; 1988. В. 2. С. 17-33.
- [2] Алферов Ж.И., Журавлева В.В., Иванов С.В., Копьев П.С., Корольков В.И., Леденцов Н.Н., Мельцер Б.Я., Табаров Т.С. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 2. С. 361-363.
- [3] Shewtchuk T.J., Chaplin P.C., Collman P.D., Корр W., Fishcher R., Моркос Н. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 5. P. 508-510.

Поступило в Редакцию
10 августа 1990 г.