

06.3;07;12

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ СПИРАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК-МЕТАЛЛ

© Н.М.Ушаков, В.И.Петросян

В системах оптической обработки информации и связи фотодетекторы на основе встречно-штыревых структур металл-полупроводник-металл с барьером Шоттки-Бардина занимают одно из важных мест. Это обусловлено тем, что такие фотодетекторы обеспечивают высокое быстродействие с одновременным сохранением относительно высокой чувствительности [1,2], а также хорошо интегрируются с различными элементами оптических интегральных схем [3]. Для линейной кинетики фототока время нарастания (или спада) импульса фототока определяется как сумма пролетного времени и времени схемной релаксации. При этом оптимальным является случай, когда время схемной релаксации не превышает пролетного времени основных носителей тока в структуре [4]. Современная технология литографии позволяет обеспечивать межэлектродные зазоры субмикронных размеров и тем самым обеспечить малые (порядка единиц пикосекунд и менее) времена пролета носителей тока. Уменьшение времени схемной релаксации связано со значительным уменьшением апертуры фотодетектора, что в свою очередь создает проблемы юстировки и приема оптических сигналов. Предлагаемый фотодетектор на основе планарной спиральной структуры позволяет избежать этого недостатка. Апертура фотодетектора может быть увеличена примерно в четыре раза по сравнению с встречно-штыревой структурой без уменьшения быстродействия. Металлическая структура электродов в таком фотодетекторе выполнена в виде плоской двузаходной спирали, состоящей из двух частей с однонаправленным ходом витков, причем концы частей спирали в центре ее электрически разомкнуты [5]. Общий вид такой спиральной структуры изображен на рис. 1, а, б.

На полупроводниковую подложку 1 нанесен слаболегированный эпитаксиальный слой 2, на поверхности которого сформирована металлическая структура спирального типа в виде "улитки". Она состоит из двух электрически

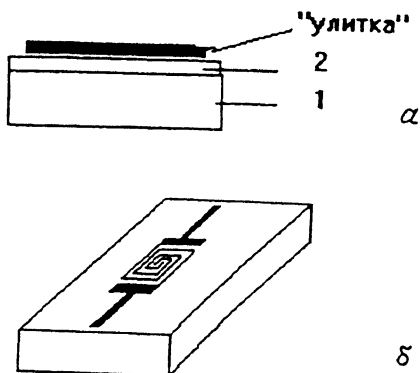


Рис. 1. Общий вид спиральной структуры металл-полупроводник-металл 1 — s.i.GaAs, 2 — n-GaAs.

разомкнутых частей. Каждая такая часть “улитки” соединяется с соответствующим электродом стандартной передающей линии.

Рассмотрим более подробно плоскую спираль — “улитку”. Предполагая, что межвитковый зазор d постоянен и значительно меньше длины прямого отрезка витка, можно для расчета величины емкости воспользоваться формулой плоского конденсатора. При этом емкость C_{s1} участка спирали, образованного двумя прямыми отрезками ее витков l_1 и l_2 ($l_1 > l_2$), будет пропорциональна длине меньшего проводника, т. е. $C_{s1} \approx l_2$. Тогда общая емкость спиральной структуры будет иметь вид

$$C_{sN} \approx (N/2 - 1)L - 4d \sum_{n=1}^{(N/2-1)} n^{(N/2-1)}, \quad (1)$$

$$C_{sN} \approx (N/2 - 1)(L - dN),$$

при $N \gg 1$ и $L = 4aN = 2dN$ следует, что

$$C_{spr} = C_{sN} \approx dN(N/2 - 1), \quad (2)$$

где L — апертура спирали, d — межвитковый зазор, a — полуширина отдельного витка, N — число витков.

Для сравнения емкость ординарной встречно-штыревой структуры пропорциональна $(N - 1)(L - 2d)$.

Отношение емкости спиральной C_{sN} и встречно-штыревой C_{iN} структур практически не зависит от числа витков N или от выбранной величины L/d и составляет величину, равную 0.25. Обозначим отношение этих емкостей как коэффициент $k_1 = 0.25$. Емкость встречно-штыревой структуры

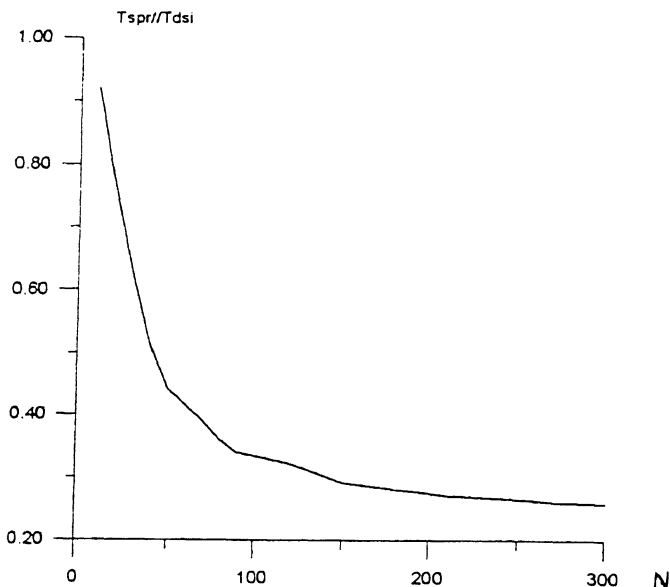


Рис. 2. Отношение времени отклика спиральной и встречно-штыревой структур.

определяется как [1]

$$C_L = \epsilon\epsilon_0 L^2 / 4d, \quad (3)$$

где $L = 2a(N + 1) + dN$, $\epsilon\epsilon_0$ — диэлектрическая проницаемость полупроводника. Полное время фотоотклика t_{tot} равно сумме пролетного времени t_r и времени схемной релаксации t_{RC} [4], т. е.

$$t_{tot} = t_r + t_{RC} = d/v_s + 2.2RC_L, \quad (4)$$

где v_s — скорость насыщения полупроводника, $R = 50$ Ом — нагрузочное сопротивление схемы включения фотодетектора. Считая, что $2a = d$ и $N \gg 1$, $k_1 = 0.25$, и с учетом (3) получим выражение для расчета полного времени отклика фотодетектора со спиральной структурой металл-полупроводник-металл. Это выражение примет вид

$$t_{tot} = (d/v_s)(1 + 110k_1\epsilon\epsilon_0 v_s N^2). \quad (5)$$

Зная, что полоса рабочих частот ΔF фотодетектора связана с временем отклика t_{tot} соотношением [4]

$$\Delta F = 0.4/t_{tot},$$

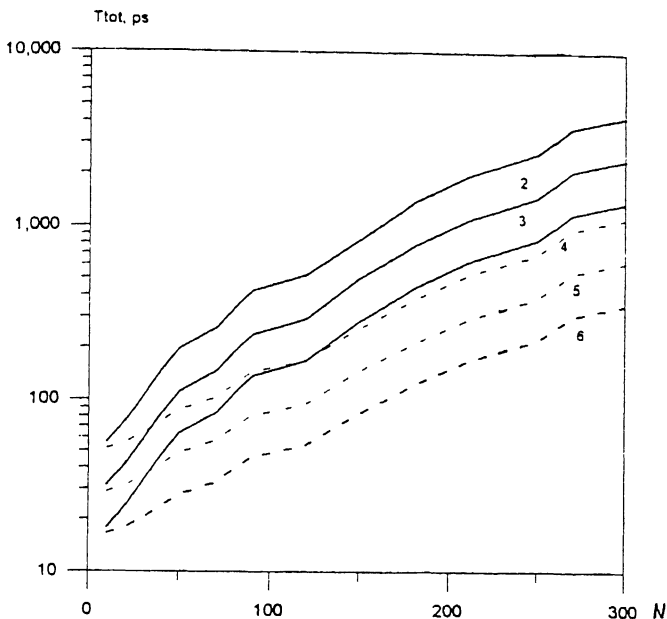


Рис. 3. Зависимость времени отклика спиральной и встречно-штыревой структур для $d = 1.6$ мкм, $U = 3$ В (кривые 1, 4); $d = 2.8$ мкм, $U = 7$ В (кривые 2, 5); $d = 5$ мкм, $U = 10$ В (кривые 3, 6).

получим уравнение для расчета полосы рабочих частот фотодетектора со спиральной структурой электродов

$$\Delta F = 0.4(v_s/d)/(1 + 27.5\epsilon\epsilon_0 v_s N^2). \quad (6)$$

При этом считаем, что верхняя частота полосы соответствует такому значению, при котором мощность электрического сигнала на нагрузке 50 Ом уменьшается на 3 дБ по сравнению с ее максимальным значением.

На рис. 2 приведена рассчитанная с помощью (4)–(6) зависимость отношения времени отклика для спиральной и встречно-штыревой структур. На рис. 3 показаны зависимости времени отклика спиральной (кривые 1–3) и встречно-штыревой структур (кривые 4–6) от числа элементов N для трех значений межвиткового зазора d (1.6, 2.8 и 5 мкм). При этом предполагалось, что примесная концентрация n -типа арсенида галлия составляет $5 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$, а ширина области пространственного заряда при напряжении смещения 3–10 В равна ширине межвиткового зазора.

Из приведенных зависимостей следует, что спиральная структура обеспечивает выигрыш в быстродействии

по сравнению с встречно-штыревой структурой тем больше, чем больше ее апертура. Такое поведение отношения времен отклика спиральной и встречно-штыревой структур объясняется тем, что при малых апертурах время пролета t_r превышает время схемной релаксации t_{rc} и полный временной отклик системы t_{tot} определяется только временем пролета основных носителей t_r . По мере увеличения апертуры время схемной релаксации начинает расти и становится доминирующим при больших апертурах, т. е. $t_{tot} \approx t_{rc}$.

Таким образом, спиральные структуры обладают преимуществом по сравнению с встречно-штыревыми при широких апертурах приемной площадки фотодетектора.

Список литературы

- [1] *Slayman C.W., Figueroa L.* // Pat. Europ. N 0 063 422, 1982.
- [2] *Roth W., Shumasher H., Kluge J. et al.* // IEEE Trans. on Electr. Devices. 1985. V. ED-32. N 6. P. 1034-1036.
- [3] *Osamu Wada* // Optical and Quant. Electr. 1988. V. 20. P. 141-174.
- [4] *Свечников Г.С.* Элементы интегральной оптики. М.: Радио и связь, 1987. 103 с.
- [5] *Ушаков Н.М.* // Пат. России. № 1 800 506. 1993.

Институт радиотехники
и электроники РАН
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию
22 апреля 1996 г.