

06;09;12

## **Возникновение S-образных участков на вольт-амперных характеристиках диодов с $p-n$ -переходом под действием СВЧ-излучения**

© Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, Н.В. Угрюмова

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

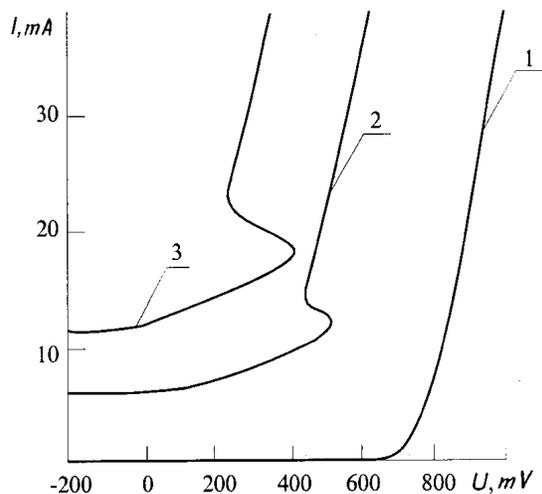
Поступило в Редакцию 2 февраля 1998 г.

В окончательной редакции 5 августа 1998 г.

Экспериментально исследовано воздействие СВЧ-излучения на вид низкочастотных вольт-амперных характеристик диодов с  $p-n$ -переходом. Показано, что при увеличении до определенной величины СВЧ-мощности на вольт-амперной характеристике диода появляется выраженный S-образный участок, который расширяется при дальнейшем увеличении СВЧ-сигнала и исчезает при снятии СВЧ-воздействия.

Воздействие СВЧ-излучения на диодные структуры с  $p-n$ -переходом может качественным образом изменять вид их стационарных или низкочастотных вольт-амперных характеристик. Так, например, в [1,2] было показано, что воздействие СВЧ-излучения на туннельный диод приводит к исчезновению на его вольт-амперной характеристике участка отрицательного дифференциального сопротивления, что было объяснено снятием вырождения электронно-дырочного газа в  $p$ - и  $n$ -областях и проявлением детекторного эффекта.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования влияния СВЧ-излучения на вид низкочастотных вольт-амперных характеристик кремниевых планарно-эпитаксиальных умножительных диодов типа 2А604. Исследуемые СВЧ-диоды помещались в микрополосковую линию. Воздействие на диод осуществлялось сигналом с частотой 180 МГц, подаваемым через регулируемый аттенуатор. Уровень подаваемой мощности контролировался измерителем мощности. Для уменьшения влияния теплового саморазогрева диодной структуры диод запитывался от источника переменного напряжения с частотой 4.5 кГц, подключенного последовательно через сопротивление



Вольт-амперная характеристика диода на основе  $p-n$ -перехода при различных значениях СВЧ-мощности.  $P, \text{mW}$ : 1 — 0, 2 — 1500, 3 — 2600.

величиной  $2 \Omega$ . Вольт-амперная характеристика фиксировалась с помощью осциллографа. На рисунке приведены измеренные вольт-амперные характеристики для различных значений мощности воздействующего СВЧ-сигнала. Как следует из этих результатов, при увеличении подаваемой мощности до  $1500 \text{ mW}$  на вольт-амперной характеристике диода появляется выраженный S-образный участок (кривая 2). При дальнейшем увеличении уровня воздействующей мощности интервал напряжений, в котором проявляется S-образность, расширяется (кривая 3). В цепи питания при этом наблюдалось возникновение низкочастотных колебаний. При выключении СВЧ-воздействия вольт-амперная характеристика диода принимала исходный, характерный для диодных структур с невырожденным  $p-n$ -переходом, вид (кривая 1).

Проведенные оценки показывают, что при подаче в линию передачи с диодом мощности СВЧ-излучения  $\sim 1500 \text{ mW}$  с учетом отражения и прохождения части мощности амплитуда СВЧ-напряжения на самом диоде не превышала  $\sim 3 \text{ V}$ . Напряжение пробоя при обратных смещениях для используемого типа диодов составляет величину более  $35\text{--}40 \text{ V}$  [3], что исключает влияние эффектов, проявляющихся при

пробое, на характер изменения вольт-амперной характеристики при воздействии на диод СВЧ-сигнала.

Отметим, что для кремниевых эпитаксиальных диодов с барьером Шоттки на прямой ветви вольт-амперной характеристики в области плотностей тока  $j = 10^4 \div 10^5 \text{ A/cm}^2$  наблюдался участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением  $S$ -типа [4], появление которого было объяснено сверхлинейным ростом проводимости эпитаксиального слоя с ростом плотности тока в указанном выше диапазоне значений  $j$  [5,6].

Для используемых в экспериментах диодов плотности токов, при которых наблюдались участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением  $S$ -типа (см. рисунок), составляли  $2 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^2 \text{ A/cm}^2$ , что примерно на два порядка меньше, чем в [4]. Последнее связано с принципиально различными физическими факторами, приводящими к возникновению участка отрицательного сопротивления  $S$ -типа при воздействии на диод СВЧ- и стационарного напряжений.

Действительно, как отмечалось в [1,2,7], на характер изменения вида стационарной вольт-амперной характеристики при воздействии СВЧ-сигнала на диодные структуры в отличие от эксперимента, описанного в [4], существенное влияние оказывают изменения положения уровней Ферми в  $p$ - и  $n$ -областях  $p$ - $n$  перехода вследствие разогрева носителей заряда СВЧ-полем, эффект детектирования и изменение доли отраженной от диода и поглощаемой диодом СВЧ-мощности при изменении ее уровня.

Проведенные нами дополнительные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что тепловой разогрев решетки в интервале температур 300–400 К как при отсутствии, так и при наличии СВЧ-воздействия не приводил к качественному изменению вольт-амперных характеристик диода, а лишь вызывал их сдвиг в сторону меньших значений приложенного напряжения.

Таким образом, впервые экспериментально обнаружено возникновение на вольт-амперных характеристиках диодов с  $p$ - $n$ -переходом при воздействии на них СВЧ-излучения повышенного уровня мощности участков  $S$ -типа, т. е. появление отрицательного дифференциального сопротивления. Установленное явление важно как для понимания физики взаимодействия СВЧ-излучения с полупроводниковыми структурами, так и при определении условий эксплуатации полупроводниковых приборов на основе структур с  $p$ - $n$ -переходами.

## Список литературы

- [1] *Усанов Д.А., Коротин Б.Н., Орлов В.Е., Скрипаль А.В.* // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 8. С. 50–51.
- [2] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Коротин Б.Н., Орлов В.Е.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 7. С. 81–85.
- [3] *Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. Справочник /* Наливайко А.Б., Берлин А.С., Божков В.Г. и др. Под ред. Наливайко А.Б. Томск: МГП "РАСКО", 1992. 223 с.
- [4] *Yamamoto Y., Miyajima H.* // IEEE Trans. on Electron Devices. 1990. V. 37. N 5. P. 1364–1372.
- [5] *Малай А.И.* // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. В. 8. С. 1510–1518.
- [6] *Малай А.И.* // Микроэлектроника. 1994. Т. 23. В. 1. С. 35–41.
- [7] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Угрюмова Н.В.* // Изв. вузов. Электроника. 1997. № 3–4. С. 48–52.