

Академик АН УзССР С. А. АЗИМОВ, Ю. А. КАТУЛЕВСКИЙ, Р. А. МУМИНОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ПЛАЗМЫ ГЕРМАНИЕВЫХ  
(p-n-n<sup>+</sup>)-СТРУКТУР В РЕЖИМЕ ПИНЧЕВАНИЯ  
ТОКА С ПАДАЮЩИМ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ САНТИМЕТРОВОГО  
ДИАПАЗОНА**

В последние годы (p-i-n)-структуры занимают одно из главных мест в конструкциях широкополосных устройств для управления СВЧ мощностью. Их работа при малых и средних плотностях протекающего тока достаточно хорошо изучена (1). Однако при больших плотностях протекающего тока наблюдается ряд явлений, обусловленных коллективными свойствами электронно-дырочной (э.д.) плазмы. Так, например, собственное магнитное поле тока будет стремиться сжать носители в поток меньшего поперечного сечения. Это явление, получившее название пинч-эффекта, наблюдалось ранее в э.д. плазме ряда полупроводниковых материалов (2-5). В связи с этим представляло интерес изучить особенности взаимодействия электромагнитного излучения четырехсантиметрового диапазона ( $f=7,82$  ГГц) с э.д. плазмой германиевых (p-n-n<sup>+</sup>)-структур в режиме пинчевания тока.

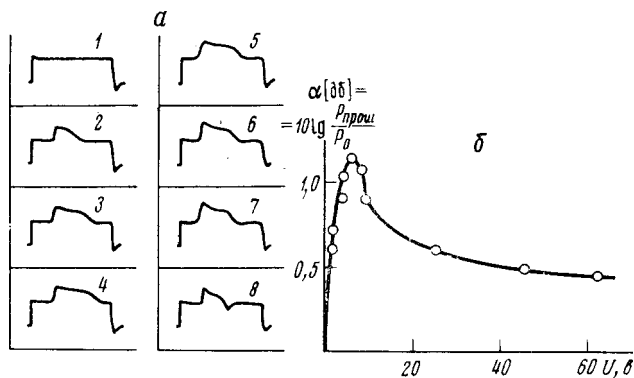


Рис. 1. а - осциллограммы импульсов СВЧ поля при различных напряжениях, подаваемых на (p-n-n<sup>+</sup>)-структуру: 1 -  $I=0$ ,  $U=0$ ; 2 -  $I=0,4$  а,  $U=1,5$  в; 3 -  $I=6,6$  а;  $U=4,0$  в; 4 -  $I=25,3$  а,  $U=6,3$  в; 5 -  $I=44$  а,  $U=8,4$  в; 6 -  $I=51,7$  а,  $U=8,8$  в; 7 -  $I=52,8$  а,  $U=9,0$  в; 8 -  $I=58,3$  а,  $U=62,5$  в. б - зависимость пропускания  $\alpha$  СВЧ мощности от напряжения  $U$ , приложенного к (p-n-n<sup>+</sup>)-структуре.  $\alpha=10 \lg (P_{\text{прош}}/P_0)$ .  $P_0=0,6$  мвт соответствует прошедшей мощности при отсутствии напряжения на (p-n-n<sup>+</sup>)-структуре

Структуры были изготовлены по методике, описанной в работе (5). Сечение использованных образцов составляло  $0,5 \times 0,5$  мм<sup>2</sup>, высота 0,75 мм. Исследования проводили при температуре жидкого азота. Используемую (p-n-n<sup>+</sup>)-структуру помещали в центре волновода параллельно его узкой стенке. Волновод к месту установки структуры имел плавный переход на высоту  $h=0,80$  мм, основной тип волны в волноводе -  $H_{10}$ . СВЧ излучение подавалось импульсами с длительностью  $\tau_n=35$  мксек., частота следования

импульсов выбрана равной 1,5 гц. Напряжение на (p-n-p<sup>+</sup>)-структуру подавалось импульсами с длительностью 4 мксек. и с задержкой относительно СВЧ импульса, равной 8 мксек. Величину падающей, отраженной, прошедшей мощности и форму СВЧ импульса определяли с помощью предварительно отградуированных детекторных секций, находящихся в направленных ответвителях. Мощность, излучаемая СВЧ генератором в импульсе, выбрана равной 1,0 мвт.

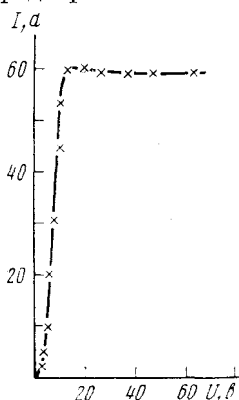


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика германиевой (p-n-p<sup>+</sup>)-структуры при температуре  $T=77^{\circ}\text{K}$

Как видно из приведенных на рис. 1а осциллограмм импульсов СВЧ, работа (p-n-p<sup>+</sup>)-структуры соответствует инверсной схеме включения ее в линию. В этом случае прямому смещению, подаваемому на (p-n-p<sup>+</sup>)-структуру, соответствует состояние пропускания СВЧ мощности (6). С увеличением тока растет инерционность рассасывания носителей в базовой области структуры. Это проявляется в возрастании интегральной мощности СВЧ, прошедший за время, равное длительности СВЧ импульса (рис. 1). Однако, начиная с некоторых токов, протекающих через эд. плазму, собственное магнитное поле тока начинает стягивать носители к центру образца. Их концентрация в шинчеванном слое начинает расти, что приводит, с одной стороны, к увеличению скорости рекомбинации носителей, вследствие чего уменьшается их полное число по сечению образца, а с другой — к уменьшению подвижности носителей из-за изменения механизма рассеяния. Оба эти процесса приводят к возрастанию сопротивления (p-n-p<sup>+</sup>)-структуры и к изменению протекающего тока. На рис. 2 при токах  $I \approx 60$  а отчетливо виден участок вольт-амперной характеристики (в.а.х.), связанный с шинчеванием тока. Вследствие увеличения скорости рекомбинации носителей при сжатии эд. плазмы происходит уменьшение времени рассасывания носителей после окончания приложенного к (p-n-p<sup>+</sup>)-структуре импульса напряжения. Пропускание СВЧ мощности за время, равное длительности СВЧ импульса, начинает уменьшаться с ростом тока (рис. 1), и при сильных сжатиях эд. плазмы ( $U \approx 62,5$  в) оно становится минимальным.

Процесс сжатия эд. плазмы начинается намного раньше, чем происходит изменение в.а.х. (p-n-p<sup>+</sup>)-структуры. Об этом можно судить с помощью других методов диагностики плазмы, например, по изменению спектра рекомбинационного излучения (7). Как показано выше, перераспределение носителей в объеме кристалла заметно сказывается на прохождении СВЧ мощности, поэтому ток, при котором начинается уменьшение прошедшей СВЧ мощности ( $I \approx 25$  а), можно считать критическим током, характеризующим начало сжатия эд. плазмы в использованных германиевых (p-n-p<sup>+</sup>)-структурах.

Таким образом, при рассмотрении работы (p-n-p<sup>+</sup>)-структуры при высоких уровнях инжекции необходимо учитывать сжатие эд. плазмы собственным магнитным полем тока, приводящее к уменьшению инерционности рассасывания носителей.

Физико-технический институт им. С. В. Стародубцева  
Академия наук УзССР  
Ташкент

Поступило  
30 IX 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. Б. Дзезцер, О. С. Орлов, p-i-n диоды в широкополосных устройствах СВЧ, М., 1970. <sup>2</sup> M. Glicksman, R. A. Powlus, Phys. Rev., v. 121, 1659 (1961). <sup>3</sup> M. C. Steele, T. Hattori, J. Phys. Soc. Japan, v. 17, 1661 (1962). <sup>4</sup> В. Н. Добровольский, М. Н. Винославский, ЖЭТФ, т. 62, 1811 (1972). <sup>5</sup> С. А. Азимов, Ю. А. Кагулевский и др., Проблемы диэлектрической электроники, 1974. <sup>6</sup> Полупроводниковые диоды, под ред. Н. Н. Горюнова, Ю. Р. Носова, М., 1968, стр. 236. <sup>7</sup> А. П. Шогов, С. П. Гришечкина, Р. А. Мумилов, ЖЭТФ, т. 50, 1525 (1966).