

# ДИНАМИКА НИЗКОЧАСТОТНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ДИОДОВ ГАНА

М.Е.Левинштейн

В работе [1] экспериментально наблюдалась одновременная генерация диодом Гана высокочастотных колебаний с частотой  $17,8 \text{ ГГц}$  и низкочастотных колебаний с частотой  $\sim 12 \text{ МГц}$ . Низкочастотные колебания имели синусоидальную форму, и амплитуда их возрастала с увеличением напряжения, приложенного к образцу.

Нами в пяти диодах Гана с частотой гановских осцилляций  $0,8-1,2 \text{ ГГц}$  обнаружены низкочастотные колебания с частотой  $5,9-9,8 \text{ МГц}$ , динамика которых носит сложный характер и зависит от напряжения, приложенного к образцу.

Все диоды были изготовлены из одной и той же пластины  $n\text{-GaAs}$  с концентрацией электронов при комнатной температуре  $n_0 = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  и подвижностью  $\mu_0 \approx 5000 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ . Холловские измерения, проведенные в диапазоне температур  $77-293 \text{ }^\circ\text{K}$ , устанавливают наличие в запрещенной зоне глубокого "эффективного" [2] донорного уровня, лежащего на  $\Delta E = 0,18 \pm 0,05 \text{ эВ}$  ниже края зоны проводимости.

Низкоомный омический контакт был получен сплавлением при  $500^\circ\text{C}$  в атмосфере водорода  $\text{InTe}$  в образцах Д2-Д5 и  $\text{In}$  в образце Д1. Длина образцов составляла  $100 \text{ мк}$  для образцов Д1 - Д4 и  $150 \text{ мк}$  для образца Д5.

Напряжение к образцам прикладывалось в виде импульсов длительностью  $\tau = 1 \text{ мксек}$  и частотой следования  $60 \text{ имп/сек}$ .

Диоды Д1 - Д3 обнаружили качественно сходную динамику колебаний. Опишем ее на примере диода Д2. В диапазоне напряжений  $0 < V < 20,5 \text{ в}$  характеристика ток-напряжение диода линейна. При напряжении  $V \geq 20,5 \text{ в}$  характеристика ток-напряжение обнаруживает резкое "гановское" [3,4] насыщение по току. При  $20,5 \text{ в}$  на вершине импульса появляются некогерентные шумы с амплитудой, соизмеримой с толщиной линии развертки осциллографа ( $\sim 0,1 \text{ в}$ ). С возрастанием приложенного напряжения осцилляции, резко увеличиваясь по амплитуде, утрачивают характер шума, и при  $21,2 \text{ в}$  приобретают строго когерентный характер. При этом напряжении колебания имеют вид синусоиды с амплитудой, нарастающей во времени от нуля до установившегося значения, равного  $2,8 \text{ в}$  за время  $0,57 \text{ мксек}$  (четыре периода). Частота осцилляций  $f_0 = 7,0 \text{ МГц}$ . При дальнейшем увеличении напряжения время, за которое амплитуда колебаний достигает установившегося значения, резко уменьшается, и при  $22 \text{ в}$  равняется  $0,14 \text{ мксек}$  (1 период). Амплитуда установившихся колебаний равняется  $3,1 \text{ в}$ .

В диапазоне напряжений  $22,2 \leq V \leq 23,8 \text{ в}$  амплитуда синусоидальных колебаний не зависит от времени и при  $23,8 \text{ в}$  составляет  $3,9 \text{ в}$ . При  $V = 24 \text{ в}$  колебания затухают со временем (при одновременном возрастании амплитуды первой полуволны напряжения). Затухание колебаний носит неэкспоненциальный характер, и, поэтому, не может быть описано, как обычно, логарифмическим декрементом затухания. В таблице приведены данные, характеризующие динамику колебаний при напряжении

$V \geq 24$  в. Как видно из таблицы, время затухания колебаний резко уменьшается с повышением напряжения. При 40 в появляются предпробные шумы.

Приложенное напряжение, в	Амплитуда полувольт напряжения, в										Частота $f_0$ , МГц
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
24	4,4	3,5	4,1	3,2	3,8	3,0	3,5	2,7	3,2	2,5	7,0
26	5,0	4,2	4,0	3,2	3,0	2,2	2,0	1,1	0,9		7,0
28	5,7	4,8	3,2	2,2	2,0	1,2	0,5	—	—	—	7,9
30	6	5	3,5	1,5	0,3	—	—	—	—	—	7,0
38	13,5	6,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	7,0

Нечетным номерам полувольт соответствует превышение напряжения над приложенным.

Динамика колебаний, наблюдавшихся в образцах Д4 и Д5, существенно отличается от динамики колебаний образцов Д1 – Д3. Опишем ее на примере диода Д5.

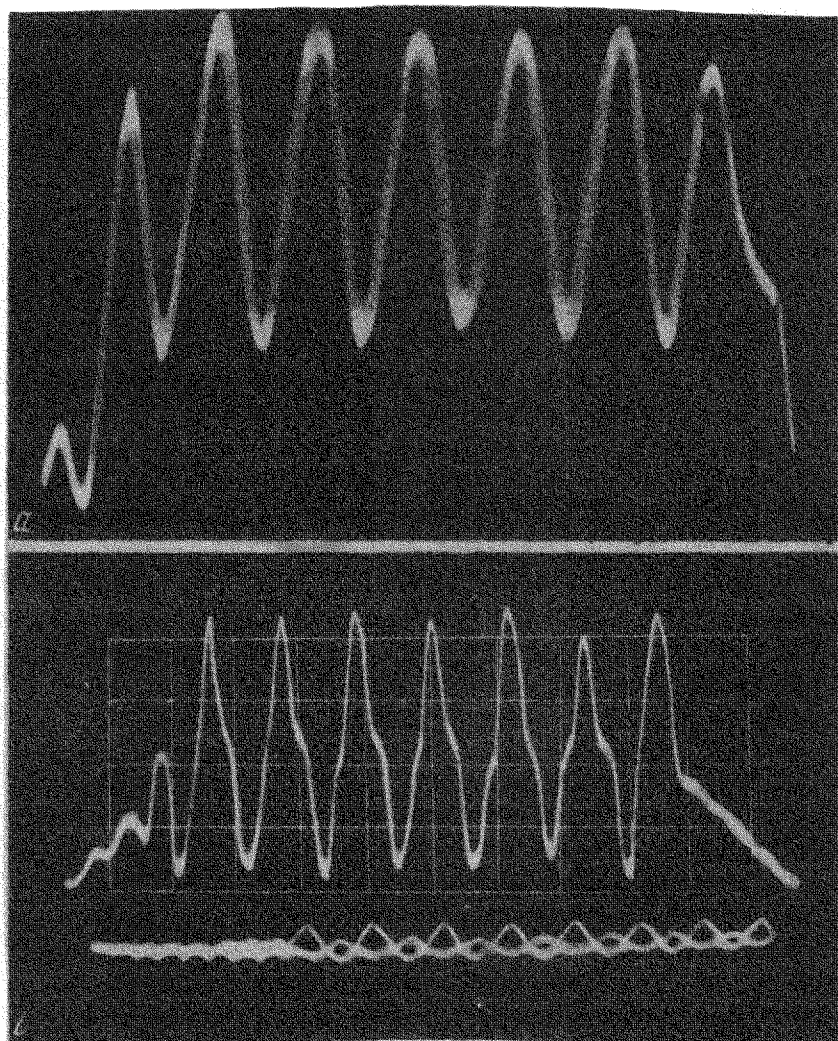
В диапазоне напряжений 0 – 45 в характеристика ток-напряжение диода линейна. При  $V \geq 45$  в наблюдается "гановское" насыщение по току. При напряжении  $V = 45$  в на образце "скачком" появляются колебания очень большой амплитуды, носящие резко нелинейный характер. Амплитуда отрицательных полувольт составляет 21 в. Амплитуда положительных – 35 в. Таким образом, колебания резко несимметричны относительно приложенного напряжения. Период колебаний равняется 0,17 мксек (5,9 МГц).

При небольшом повышении напряжения ( $V = 47$  в) колебания слегка уменьшаются по амплитуде и утрачивают когерентность, приобретая шумовой характер. При  $V = 52$  в колебания вновь становятся когерентными, и наблюдается вторая мода колебаний с частотой  $f_0 = 9,8$  МГц и формой, также нелинейной, но значительно отличающейся от предыдущей. Колебания второй моды симметричны относительно приложенного напряжения. При  $V = 58$  в амплитуда колебаний равняется 33 в. При  $V = 60$  в появляются предпробные шумы. Следует обратить внимание на высокий КПД преобразования энергии постоянного напряжения в энергию переменного в обеих частотных модах, доходющий до 16% во второй моде.

На рис. а представлены колебания, наблюдавшиеся на диоде Д2 при  $V = 23$  в. На рис. б – вторая мода колебаний диода Д5 при  $V = 54$  в.

Осцилляции оказываются весьма чувствительными к изменению температуры. Так, повышение частоты следования импульсов до 200 имп/сек,

что приводит к увеличению мощности, рассеиваемой образцом, заметно меняет динамику осцилляций в обоих типах пиюдов.



*a* – масштаб по горизонтальной оси  $0,1 \text{ мксек/см}$ , масштаб по вертикальной оси  $1,5 \text{ в/см}$ . *б* – масштаб по горизонтальной оси  $0,1 \text{ мксек/см}$ , масштаб по вертикальной оси  $18 \text{ в/см}$

Если описанные нами колебания имеют ту же природу, что и наблюдавшиеся в [1], то, по-видимому, их появление не может быть объяснено возникновением какого-либо типа "медленных доменов" [5,6].

Автор признателен Ю.А.Гольдбергу за изготовление образцов и Д.Н.Наследову за ценное обсуждение.

Физико-технический институт  
им.А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
14 февраля 1968 г.

### Литература

- [1] S.W.Jaskolski, T.K.Ishii. Electronics Letters, 3, 13, 1967.
- [2] G.F.Day. IEEE Trans. on Electron Devices, ED-13, 88, 1966.
- [3] D.E.Mc.Cumber, A.G.Chynoweth. IEEE Trans. on Electron Devices, ED-13, 4, 1966.
- [4] A.Jamashita, R.Nii. IEEE Trans. on Electron Devices, ED-13, 196, 1966.
- [5] B.K.Ridley. Brit. J. Appl. Phys., 17, 595, 1966.
- [6] В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. ФТТ, 7, 750, 1965.