

О ДИАПАЗОНЕ РАБОТЫ ДИОДОВ ГАННА В ГИБРИДНОМ РЕЖИМЕ

Режим с подавлением домена в диодах Ганна, гибридный режим и режим ОНОЗ (ограничение накопления объемного заряда) являются естественным продолжением друг друга и плавно переходят один в другой при увеличении частоты колебаний резонансной системы f , увеличении длины диода L и постоянной составляющей напряженности электрического поля на диоде E_0 . Различие указанных режимов состоит в соотношении времени формирования домена сильного поля t_Φ и периода высокочастотных колебаний T . Если в режиме с подавлением домена $t_\Phi \ll T$, в режиме ОНОЗ $t_\Phi > T$, то в гибридном режиме время формирования домена порядка периода высокочастотных колебаний или составляет значительную часть его. Гибридный ре-

жим сам является некоторой границей между режимом с подавлением домена и режимом ОНОЗ. Однако, если оставаться на точке зрения существования гибридного режима, следует определить его возможные границы для различных параметров материала и диода, что мы и попытаемся сделать.

Определялись две границы — граница гибридного режима и режима с подавлением домена и граница гибридного режима с режимом ОНОЗ. В основу определения первой границы положено указанное выше соотношение времени формирования домена t_{ϕ} и периода высокочастотных колебаний T ; при этом окончание формирования соответствовало напряженности электрического поля вне домена $E_0(t) \sim E_0(\infty)$, где $E_0(\infty)$ — напряженность электрического поля вне домена для стационарного домена в момент времени $t \lesssim 0,2 T$. Это условие полагалось справедливым при любой форме действующего на диоде напряжения. Поглощение формирующимся доменом части действующего на диоде напряжения также происходит независимо от действующего напряжения, т. е. домен формируется идентично для различных напряженностей поля вне домена. Вторая граница определялась из условия следования напряженности электрического поля вне домена $E_0(t)$ внешнеприложенной напряженности электрического поля, действующей на диоде $E(t)$. При этом отличие $E_0(t)$ от $E(t)$ на 10—15% при максимальной напряженности электрического поля на диоде полагалось достаточным для перехода в режим ОНОЗ (в этом случае напряженность электрического поля $E_0(t)$ прослеживает кривую $v(E)$ так же, как и $E(t)$). При таком подходе к определению границ гибридного режима многое зависит от зависимости изменения падения напряжения на формирующемся домене во времени и формы действующего на диоде напряжения.

В настоящем расчете полагалось, что на диоде действует синусоидальное напряжение, а падение напряжения на формирующемся домене изменяется в соответствии с [1] (в этом случае скорость формирования домена оказывается наибольшей). Тогда условия для определения границ гибридного режима запишутся в виде

$$E_0 - E_1 \cos(\omega t + \varphi) - \frac{2\pi q n_0}{\varepsilon L} (v_n - v_m)^2 t^2 \approx E_0(\infty) \text{ для } t < 0,2 T;$$

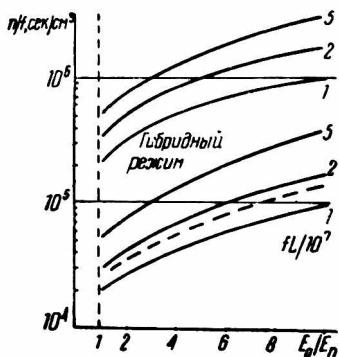
$$E_0 - E_1 \cos(\omega t + \varphi) - \frac{2\pi n_0 q}{\varepsilon L} (v_n - v_m)^2 t^2 \approx 0,8 - 0,9 E_{\max}(t),$$

где E_0 — постоянная составляющая напряженности электрического поля на диоде; E_1 — амплитуда переменной составляющей напряженности; $\omega = \frac{2\pi}{T}$, n_0 — концентрация электронов в GaAs; L — длина диода; v_n , v_m — максимальная и минимальная скорости дрейфа электронов в зависимости $v(E)$ GaAs,

$\varphi = \arccos \frac{E_0 - F_n}{E_1}$. Формирование домена начинается сразу после

превышения пороговой напряженности электрического поля. Из записанных условий следует зависимость границ работы диода в гибридном режиме для переменных величин E_0 , n_0 , f , L . Результаты численных расчетов в

виде зависимости n_0/f (E_0/E_n) для различных отношений $f/f_{пр}$ показаны на рисунке. Частота $f_{пр} = 10^7/L$ сек⁻¹.



Как видно из изложенного выше, условная граница между режимами зависит от $f/f_{пр}$ и E_0/E_n ; результаты находятся в согласии с физикой формирующегося домена. Нижняя граница n_0/f гибридного режима перекрывается с областью ОНОЗ режима; следует отметить, что критерий по рассасыванию заряда в режиме ОНОЗ справедлив и для

гибридного режима (в области существования гибридного режима часть периода напряжения, в течение которого домен рассасывается, всегда больше максвелловского времени релаксации).

Верхняя граница гибридного режима по n_0/f , являющаяся и границей доменного режима, зависит от приложенного напряжения и f (см. рисунок), что находится в согласии с физикой формирования домена сильного поля. Граница, определенная по приближенному соотношению для времени формирования домена $t_{\phi} \sim 10^5/n_0$, примерно соответствует показанной на рисунке, однако не отражает реальной зависимости n_0/f от перенапряжения на диоде.

Указанные на рисунке границы не характеризуют к. п. д. генератора на диоде Ганна в диапазоне n_0 , f , L и E_0 , а лишь указывают на то, что физика электронных процессов в диоде более всего соответствует гибричному режиму в диапазоне указанных параметров. Максимальный же к. п. д. в гибридном режиме соответствует примерно пунктирной кривой, что находится в согласии с результатами [2].

Рассмотрев диапазон работы диодов в гибридном режиме, можно определить частотные возможности режима, т. е. при заданных параметрах диода могут быть определены частоты, на которых он работает в доменном или в гибридном режиме. Так, для диодов с $L = 10$ мкм, $n_0 \sim 2-5 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и $E_0/E_n \sim 5$ максимальная частота работы их в гибридном режиме составляет ~ 50 гГц; при тех же концентрациях, но других длинах диодов максимальная частота доменного режима составляет 10—18 гГц.

Анализ полученных результатов позволяет также сделать вывод о том, что гибридный режим является основным при работе диодов Ганна в сантиметровом диапазоне, если длина диодов $L \sim 10$ мкм и концентрация электронов $5 \cdot 10^{14} - 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (доменные режимы в указанном диапазоне менее вероятны).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kurokawa K. Transient of high-field \downarrow mains in bulk semiconductors.— Proc. IEEE, 1967, vol. 56, № 9, p. 1615—1616.
2. Прохоров Э. Д., Арендарь В. Н. Об условиях работы диодов Ганна в гибридном режиме. «Радиотехника и электроника», 1971, № 7, с. 1230—1238.