

**Плазменная неустойчивость двумерных электронов в полевом транзисторе с
частично открытым каналом**

А.С. Петров, Д.А. Свинцов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Интерес к плазменным неустойчивостям, активно изучавшимся в середине XX века, недавно возродился в связи с предсказанной возможностью самовозбуждения плазменных волн и генерации терагерцового излучения в каналах полевых транзисторов при пропускании постоянного тока [1-2]. Особый интерес представляет неустойчивость Дьяконова-Шура [3], спектр генерируемых волн в которой имеет резонансный характер. Ее развитие возможно при идеальном отражении переменного тока от стокового контакта транзистора с высокой подвижностью электронов, а механизм основан на различии скоростей плазменных волн, распространяющихся вдоль и против постоянного тока. При отражении от стока амплитуда малых возмущений концентрации, в силу уравнения непрерывности, возрастет в $(s+u)/(s-u)$ раз (u – скорость потока электронов, s – скорость плазменных волн, рис. 1а). В действительности, условие идеального отражения тока лишь приближенно выполняется для транзисторов в режиме насыщения [4].

В данной работе мы показываем, что аналогичная неустойчивость может реализоваться и при более реалистичных граничных условиях в асимметричном транзисторе с частично открытым каналом (рис. 1б). В силу существенного различия длин плазменных волн в подзатворной и открытой областях отражение волн от границы их раздела является практически идеальным; а в присутствии постоянного тока отражение сопряжено с ростом амплитуды. Количественное описание эффекта основано на решении уравнений Пуассона и гидродинамики электронов. В качестве граничных условий использовалось постоянство потенциала на контактах и непрерывность тока на границе областей. Было получено уравнение на собственные частоты $\omega = \omega' + i\omega''$ плазменных колебаний:

$$\frac{2\omega d}{\varepsilon s_1} \operatorname{ctg}\left(\frac{\omega^2 L_2}{2a}\right) = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\omega L_1}{s_1}\right) - i \frac{u_1}{s_1}, \quad (1)$$

где L_1, L_2 – длины подзатворной и открытой областей, $a = \pi e^2 n_2 / \varepsilon m^*$, ε – проницаемость подзатворного диэлектрика, n_2 – концентрация носителей в открытой области, m^* – эффективная масса носителей. Численное решение при разных значениях L_2 (рис. 2) доказывает самопроизвольное нарастание амплитуды плазменных волн ($\operatorname{Im} \omega > 0$). Обнаруженный эффект может быть использован для создания генераторов терагерцового излучения на основе асимметричных полевых транзисторов.

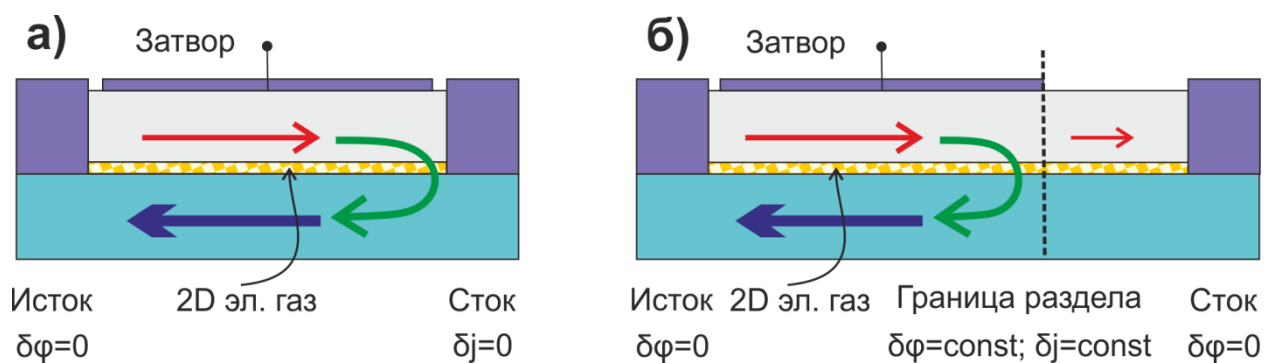


Рис. 1: Схематическое изображение развития плазменной неустойчивости в полевом транзисторе в схеме Дьяконова-Шура (а) и в схеме с частично открытым каналом (б).

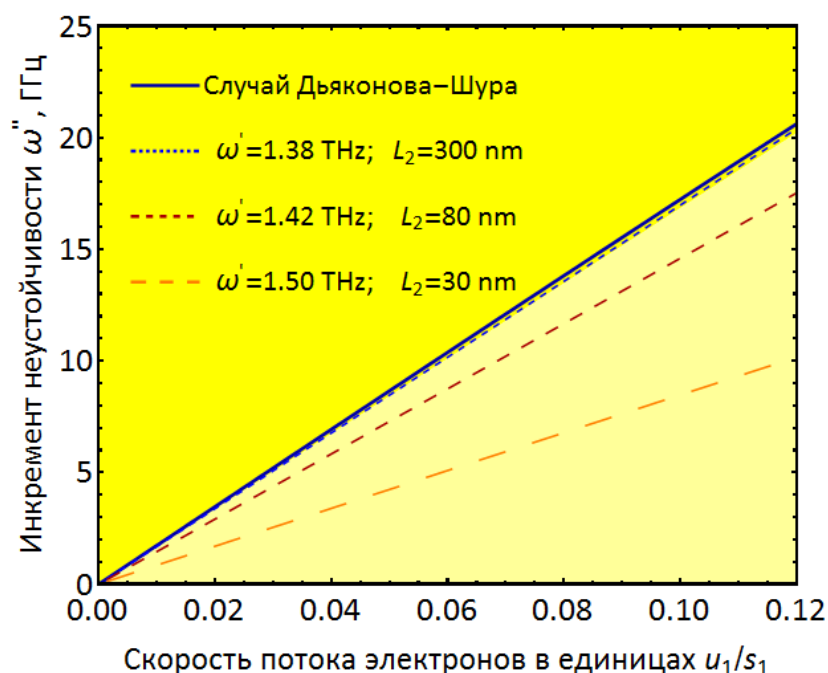


Рис. 2: Рассчитанные зависимости инкремента неустойчивости плазменных волн от числа Маха для различных длин открытой области.

Литература

1. Mikhailov S. A. "Graphene-based voltage-tunable coherent terahertz emitter". – Phys. Rev. B 87. – 2013. – 115405.
2. Batrakov K. G., Maksimenko S. A., Kuzhir P. P., and Thomsen C. "Carbon nanotube as a Cherenkov-type light emitter and free electron laser". – Phys. Rev. B 79. – 2009. – 125408.
3. Dyakonov M., Shur M. "Shallow Water Analogy for a Ballistic Field Effect Transistor: New Mechanism of Plasma Wave Generation by dc Current". – Phys. Rev. Lett. – 1993. – Vol. 71, p. 2465.
4. Ryzhii V., Satou A. and Shur M. S. "Transit-time mechanism of plasma instability in high electron mobility transistors". – Physica Status Solidi (a). – 2005. – Vol. 202. – pages R113–R115.