

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИНИАТЮРНОГО НИЗКОВОЛЬТНОГО ГЕНЕРАТОРА ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПЛАНАРНОЙ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

*Р. А. Торгашов<sup>1,2</sup>, А. И. Бенедик<sup>1</sup>, Н. М. Рыскин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
Россия, 410012 Саратов, Астраханская, 83

<sup>2</sup>Саратовский филиал Института радиотехники  
и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
Россия, 410019 Саратов, Зелёная, 38

E-mail: [torgashovra@gmail.com](mailto:torgashovra@gmail.com); [andrej-benedik@yandex.ru](mailto:andrej-benedik@yandex.ru); [RyskinNM@info.sgu.ru](mailto:RyskinNM@info.sgu.ru)

Поступила в редакцию 14.07.2017

Освоение терагерцевого диапазона частот является одной из приоритетных проблем современной вакуумной СВЧ-электроники. При создании подобных СВЧ-устройств для повышения мощности и КПД целесообразно использовать пространственно-развитые замедляющие системы (ЗС) и электронные пучки с большим поперечным сечением. Также при миниатюризации приборов принципиальным становится вопрос снижения ускоряющего напряжения. Перспективными в этом случае являются планарные ЗС на диэлектрических подложках.

В данной работе проведены исследования низковольтного генератора миллиметрового диапазона на основе лампы обратной волны (ЛОВ) с ленточным электронным пучком и планарной встречно-штыревой ЗС на подложке из кварца.

Расчеты электродинамических характеристик ЗС показали, что она обладает большим замедлением и достаточной широкой полосой частот: при относительно небольших значениях напряжения 1.0–3.5 kV обеспечивается перестройка частоты в диапазоне 60–75 GHz. Сопротивление связи, усредненное по сечению пучка  $500 \times 50 \text{ } \mu\text{m}^2$ , который располагается на расстоянии 50  $\mu\text{m}$  от металлизированной поверхности ЗС, увеличивается с ростом частоты от 2  $\Omega$  до 40  $\Omega$  в рабочем диапазоне частот.

Исходя из этих результатов, были получены необходимые для компьютерного моделирования параметры ЛОВ-генератора. Для компьютерного моделирования использовались известные уравнения одномерной нестационарной теории ЛОВ с учетом сил пространственного заряда и потерь в замедляющей системе. Были проведены расчеты самовозбуждения генератора, ЗС которого состояла из 50 периодов. Для данной ЗС стартовый ток составляет 10–30 mA, что соответствует плотности 50–100 A/cm<sup>2</sup>. При разумных значениях тока, не превышающих 50 mA, выходная мощность составляет 1–2 W. Исследованная в данной работе ЛОВ может быть использована в качестве генератора входного сигнала для усилителя на основе лампы бегущей волны с планарной ЗС.

*Ключевые слова:* Вакуумная микроэлектроника, миллиметровый диапазон, лампа обратной волны, встречно-штыревая замедляющая система, ленточный электронный пучок.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-5-35-46

*Образец цитирования:* Торгашов Р.А., Бенедик А.И., Рыскин Н.М. Исследование миниатюрного низковольтного генератора обратной волны миллиметрового диапазона с планарной замедляющей системой // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25, No 5. С. 35–46. DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-5-35-46

## STUDY OF MINIATURIZED LOW-VOLTAGE BACKWARD-WAVE OSCILLATOR WITH A PLANAR SLOW-WAVE STRUCTURE

*R. A. Torgashov<sup>1,2</sup>, A. I. Benedik<sup>1</sup>, N. M. Ryskin<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Saratov State University

83 Astrakhanskaya Street, 410012 Saratov, Russia

<sup>2</sup>Saratov Branch, Institute of Radio Engineering and Electronics

38 Zelenaya Street, 410019 Saratov, Russia

E-mail: torgashovra@gmail.com; andrej-benedik@yandex.ru; RyskinNM@info.sgu.ru

Received 14.07.2017

The development of the terahertz frequency range is one of the priority problems of modern vacuum microwave electronics. For increasing power and efficiency of such devices, it is favorable to use spatially developed slow-wave structures (SWSs) and electron beams with a large cross section. For miniaturization of vacuum-tube devices, reducing of the accelerating voltage becomes a problem of principal importance. In this respect, planar SWSs on dielectric substrates are very promising. In this paper, the results of study of a miniaturized low-voltage millimeter-band backward-wave oscillator (BWO) with a sheet electron beam and planar interdigital SWS on silica substrate are presented. Calculations of the electromagnetic characteristics of the SWS showed that it has large slow-down factor and relatively wide passband. Frequency tuning in the 60–75 GHz range is provided at relatively low operation voltage 1.0–3.5 kV. The coupling impedance averaged over the  $500 \times 50 \mu\text{m}^2$  beam cross section, increases with frequency from 2 to 40  $\Omega$  in the operating frequency range. The beam is placed at 50  $\mu\text{m}$  distance from the metallized surface of the SWS. Based on these results, the parameters required for computer simulation were calculated. The well-known equations of the 1D nonstationary BWO theory considering the space charge forces and cold losses are used for the computer simulation. Self-excitation current for the BWO with SWS consisting of 50 periods was calculated. The starting current is about 10–30 mA, which corresponds to 50–100 A/cm<sup>2</sup> current density. The output power attains of 1–2 W for the current values not exceeding 50 mA. The BWO studied in this work can be used as a driver oscillator for a traveling-wave tube amplifier with planar SWS.

*Keywords:* Vacuum microelectronics, millimeter band, backward-wave oscillator, interdigital slow wave structure, sheet electron beam.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-5-35-46

*References:* Torgashov R.A., Benedik A.I., Ryskin N.M. Study of miniaturized low-voltage backward-wave oscillator with a planar slow-wave structure. Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2017. Vol. 25. Issue 5. P. 35-46. DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-5-35-46