

MODEL OF HIGH-INTENSITY LOCAL INFLUENCE OF MICROWAVE RADIATION ON SEMICONDUCTOR LAYERED STRUCTURES

Gordienko Yu.E.¹, Slipchenko N.I.¹, Taran E.P.²

¹Kharkov National University of Radioelectronics

14, Lenina Str., Kharkov, 61166, Ukraine

²Taurida National V.I. Vernadsky University

4, Vernadsky Ave., Simferopol, 95007, Ukraine

Ph.: (0652) 608260, e-mail: taran_evgeniy@mail.ru

Abstract — The numerical model of local high-local influence of microwave radiation on semiconductor structures is presented. The electrodynamic part of the model is constructed with use of a method of FDTD with an adaptive spatial grid. At creation of thermal part the method of independent thermal streams was used. Distributions of electromagnetic and temperature fields in semiconductor structure which allow determining the characteristic sizes of local sites with increased temperature in semiconductor structures under the influence of electromagnetic fields of microwave range are obtained.

МОДЕЛЬ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЛОИСТЫЕ СТРУКТУРЫ

Гордиенко Ю. Е.¹, Слипенченко Н. И.¹, Таран Е. П.²

¹Харьковский национальный университет радиозлектроники

пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

²Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского

пр. Вернадского, 4, г. Симферополь, 95007, Украина

тел.: (0652) 608260, e-mail: taran_evgeniy@mail.ru

Аннотация — Предложена численная модель высоколокального воздействия СВЧ-излучения на полупроводниковые структуры. Электродинамическая часть модели построена с использованием метода конечных разностей во временной области (FDTD) с адаптивной пространственной сеткой. При построении тепловой части использовался метод независимых тепловых потоков. Получены распределения электромагнитных и температурных полей в полупроводниковой структуре, которые позволяют определить характерные размеры локальных участков с повышенной температурой при воздействии высокоинтенсивных электромагнитных полей СВЧ-диапазона.

I. Введение

Воздействие электромагнитных полей СВЧ-диапазона на полупроводниковые структуры приводит к их разогреву. Локальное воздействие СВЧ-мощности на полупроводниковую структуру вызывает повышение температуры в ограниченном объеме, что может изменить не только электрофизические свойства, но и модифицировать, саму структуру [1].

Для локального воздействия на полупроводниковые слоистые структуры необходимо сконцентрировать СВЧ-энергию в ограниченной области в самом объекте. Для этого целесообразно использовать конусный коаксиальный зонд со сферическим выступающим острием [2, 3]. Распределение электромагнитных полей будет определяться как параметрами зонда, так и электрофизическими и геометрическими характеристиками слоистой структуры.

В работе предложена численная модель высокоинтенсивного локального воздействия СВЧ-излучения на полупроводниковые слоистые структуры.

II. Описание модели

Модель локального воздействия СВЧ-излучения содержит электродинамическую и электротепловую части. Геометрия модели включает в себя конусный коаксиальный зонд со сферическим выступающим острием радиусом 10 мкм и полупроводниковую структуру на диэлектрической подложке (рис. 1).

Электродинамическая часть рассматриваемой модели представляет собой численное решение уравнений Максвелла в цилиндрической системе с

использованием метода конечных разностей во временной области [4]. При построении модели используется адаптивная пространственная сетка.

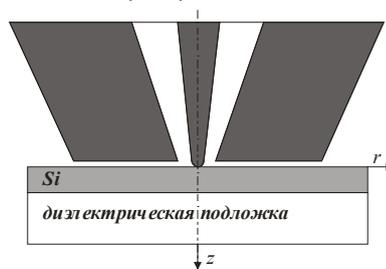


Рис. 1. Геометрия модели.

Fig. 1. The model geometry

Электродинамическая часть позволяет получить значения компонент электромагнитных полей в каждой дискретной ячейке расчетного пространства, включая полупроводниковую структуру.

Плотность тепловых источников в полупроводниковой структуре определяется соотношением:

$$q(r, z) = \omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot (E_r^2 + E_z^2) \quad (1)$$

где ω — циклическая частота электромагнитного поля, ε — относительная диэлектрическая проницаемость, $\operatorname{tg} \delta$ — тангенс диэлектрических потерь

Электротепловая часть модели представляет собой численное решение нестационарного уравнения теплопроводности методом независимых тепловых потоков с учетом электрофизических параметров по-

лупроводниковой структуры и распределения тепловых источников.

Для учета зависимости электропроводности полупроводниковой структуры от температуры используется следующее выражение:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot e^{-E_g/2kT}, \quad (2)$$

где $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана, T — температура (К), E_g — ширина запрещенной зоны полупроводниковой структуры.

Численная реализация модели высоколокального воздействия СВЧ-излучения на полупроводниковую структуру включает следующие этапы:

- 1) задание геометрических и электрофизических параметров коаксиального зонда;
- 2) задание параметров полупроводниковой структуры и ее положение относительно открытого торца коаксиального зонда;
- 3) задание электромагнитной волны на входном порту;
- 4) решение дифракционной задачи для коаксиального зонда, нагруженного на полупроводниковую структуру;
- 5) определение плотности тепловых источников в слоистой полупроводниковой структуре;
- 6) решение тепловой задачи для полупроводниковой структуры на заданном временном интервале;
- 7) расчет локальных электрофизических параметров структуры в зависимости от температуры.

III. Результаты численного расчета

На основании предложенной модели были получены распределения электромагнитных полей и температуры в полупроводниковой структуре при воздействии СВЧ-излучения мощностью $P=10$ Вт (частота — 8 ГГц). Напряженность электрического поля под сферическим острием зонда составляла порядка $3 \cdot 10^7$ В/м. Распределения температуры на оси симметрии и на поверхности полупроводниковой структуры представлены на рис. 2, 3.

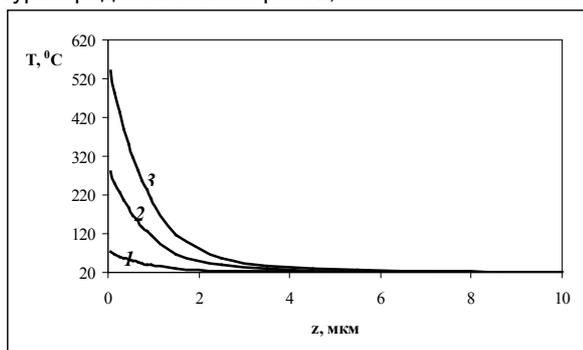


Рис. 2. Распределение температуры на оси симметрии полупроводниковой структуры в разные моменты времени: 1 — 10 нс; 2 — 50 нс; 3 — 100 нс.

Fig. 2. Distribution of temperature to axes of symmetry of a semiconductor structure in different time points: 1 — 10 ns; 2 — 50 ns; 3 — 100 ns

Анализ расчетов показывает, что под острием происходит локализация теплоты и «точечный» разогрев полупроводниковой структуры.

Учет зависимости электропроводности полупроводниковой структуры (2) приводит к возникновению режима с обострением (рис. 4).

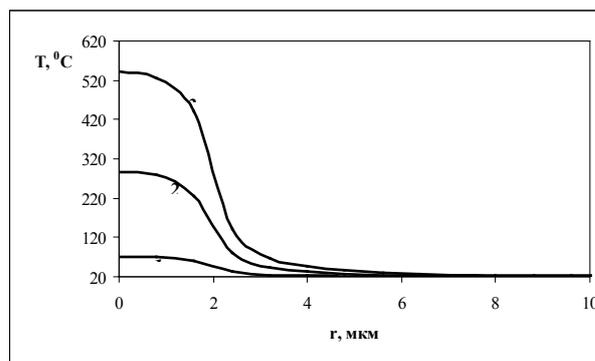


Рис. 3. Распределение температуры на поверхности полупроводниковой структуры в разные моменты времени: 1 — 10 нс; 2 — 50 нс; 3 — 100 нс.

Fig. 3. Distribution of temperature on surfaces of a semiconductor structure in different time points: 1 — 10 ns; 2 — 50 ns; 3 — 100 ns

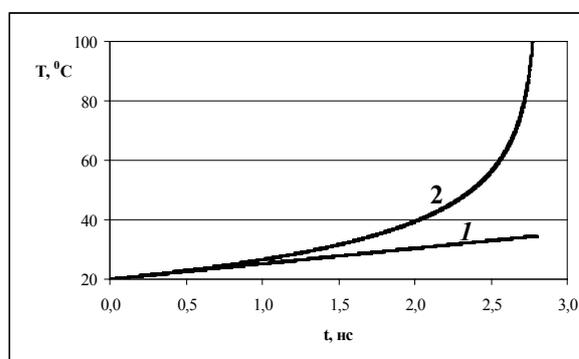


Рис. 4. Зависимость температуры в локальной точке от времени: 1 — постоянная электропроводность; 2 — с учетом зависимости электропроводности от температуры.

Fig. 4. Dependence of temperature in a local point vs. time: 1 — constant conductivity; 2 — taking into account dependence of conductivity on temperature

IV. Заключение

Разработана численная модель высокоинтенсивного локального воздействия СВЧ-излучения на полупроводниковую слоистую структуру. Получены характерные температурные и пространственные величины, которые позволяют говорить о локализации теплоты на полупроводниковой структуре.

V. References

- [1] Meir Y., Jerby E. Localized rapid heating by low-power solid-state microwave-drill. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, 2012, .vol. 60, pp. 2665-2672.
- [2] Gordienko Yu.E., Larkin S.Yu., Yaskiv A.M. Blizhnepolevoi SVCh-datchik na osnove konysnogo koaksialnogo rezonatora [Near-field microwave sensor on the basis of cone coaxial resonator]. *Radiotekhnika*, 2009, No 159, pp. 309-314.
- [3] Gordienko Yu.E., Yakovlev D.R. Mathematical Aspects of the Field-Effect Method for Spectroscopy of Localized States in Disordered Semiconductors. *Telecommunications and radio engineering*, 2002, vol. 58, No 5, pp. 58-65.
- [4] Rodriguez-Pereyra V., Elsherbeni A.Z., Smith C.E. A body of revolution finite difference time domain method with perfectly-matched layer absorbing boundary. *Progress In Electromagnetics Research*, 1999, No 24, pp. 257-277.