HIGH LOCAL SCANNING MODIFICATION OF SEMICONDUCTORS AND DIELECTRICS

Gordienko Yu.E., Slipchenko N.I., Poletaev D.A., Prokaza A.M., Pyataikina M.I.
Kharkov National University of Radioelectronics
14, Lenina Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
Ph.: (057) 7021362, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract — The present paper concerns the implementation principles for high local scanning UHF heating of semiconductors and dielectrics with the purpose of their modification in various microtechnologies, including microelectronic technologies. Numerical investigations of spatiotemporal temperature distribution in the object under near-field UHF high local probe with coaxial aperture have been carried out. Basic quantitative dependencies of the above distribution upon electrophysical parameters of semiconductor object and UHF probe structural element have been determined.

ВЫСОКОЛОКАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

Гордиенко Ю. Е., Слипченко Н. И., Полетаев Д. А., Проказа А. М., Пятайкина М. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина
тел.: (057) 7021362, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Аннотация — Предложены принципы осуществления высоколокального сканирующего СВЧ нагрева полупроводников и диэлектриков с целью их модификации в различных микротехнологиях, включая микроэлектронные. В первую очередь, такой подход может оказаться перспективным для локального перелегирования и термического окисления кремния, локальной рекристаллизации и отжига различных материалов, в том числе, в пленочном конструктиве. Проведены численные исследования пространственно-временного распределения температуры в объекте под ближнеполевым СВЧ высоколокальным зондом с коаксиальной апертурой. Установлены основные количественные зависимости указанного распределения от электрофизических параметров полупроводникового объекта и конструктива СВЧ зонда.

I. Введение

Использование энергии СВЧ электромагнитного поля для нагревания различных сред широко известно и исследовано [1]. Как правило, перед разработчиками различных направлений практического применения этого метода стояли задачи обеспечения пространственно однородного СВЧ нагрева. Задача локализации возникала реже, например, при гипертермии опухолей, и имела макроразмерный характер. Микроразмерный разогрев может стать актуальным в интересах модификации микрообъектов для микро- и наноэлектроники.

В работах [2] впервые экспериментально осуществлен СВЧ локальный разогрев различных материалов с целью сверления малоразмерных отверстий. В них показана возможность перелегирования кремния СВЧ нагревом с локализацией порядка 1 мм^2. Однако, для достижения микронной и субмикронной локализации СВЧ разогрева необходимо решать проблему оптимального тепловыделения и теплоотвода. Для этого необходима приемлемая теория метода, адаптированного к специфике наиболее перспективных ближнеполевых СВЧ излучателей с коаксиальной апертурой [3].

Целью данной работы является теоретическое исследование особенностей локализации СВЧ разогрева полупроводниковых и диэлектрических объектов на основе совместного решения электродинамической и тепловой задач для ближнеполевых источников СВЧ излучения конусного типа.

II. Основная часть

В работах по микроволновой микроскопии обоснована целесообразность использования конусных коаксиальных зондов [4]. Такой зонд может также использоваться для высоколокальных СВЧ воздействия на различные объекты. Подчеркнем, что конусность коаксиала в таком применении позволяет согласовать СВЧ источник с объектом в широком частотном диапазоне а также в диапазоне возможных изменений электрофизических параметров объекта. В работе исследовалось его функционирование как нагревателя. Теоретические аспекты должны охватывать физику процессов СВЧ тепловыделения и установления распределения температуры в объекте, а также количественные оценки зависимости этих процессов от параметров СВЧ зонда и электрофизических свойств объекта.

Ввиду сложности их аналитического описания теоретические исследования возможны только лишь численными методами.

Для расчета тепловых процессов в объекте, при локальном СВЧ воздействии на него, необходимо решать нестационарное уравнение теплопроводности с тепловыми источниками, которые распределяются в нем исходя из решения электродинамической задачи. С учетом осесимметричности рассматриваемой модели это уравнение имеет вид:

$$c\rho\frac{\partial T(r_1 z_1)}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[\lambda r\frac{\partial T(r_1 z_1 t)}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial r}\left[\lambda\frac{\partial T(r_1 z_1 t)}{\partial r}\right]+q(r_1 z_1 t),\quad(1)$$

где $T(r_1 z_1 t)$ — искомое пространственное распределение температуры в объеме; c — удельная теплоемкость материала объекта; ρ — его удельная плотность; $q(r_1 z_1 t)$ — удельная мощность тепловых источников.

При решении этого уравнения на границах объекта должны выполнятся условия:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right|_{гр}=-\frac{\alpha}{\lambda}\left(T_{пов}T_{o.ср}\right),\quad(2)$$

где α — коэффициент теплопередачи поверхности

2013 23rd Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2013). 9—13 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine
© 2013: CriMiCo'2013 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-395-1. IEEE Catalog Number: CFP13788

объекта; $T_{пов}$ — температура поверхности объекта; $T_{о.ср}$ — температура среды.

Удельная мощность тепловыделения источников выражается соотношением:

$$q(r_1 z_1 t) = \sigma\left(E_r^2 + E_z^2\right). \quad (3)$$

В общем случае, параметры *ε, σ, tgδ, c, λ, α* могут зависеть и от координат и от температуры. При исследовании процессов локального СВЧ теплового воздействия особенно следует выделять их температурную зависимость, влияние которой может проявляться в режиме с обострением.

На первом этапе ограничимся только установлением особенностей пространственно-временного распределения температуры в объекте с учетом неоднородного тепловыделения. Очевидно, что локализация нагрева в первую очередь определяется локализацией источников и нивелируется теплопроводностью. Скорость увеличения температуры максимальна в области источников и контролируется произведением ($c \cdot \rho$). Однако, в связи с высокой локализацией источников и неоднородностью их распределения от центра к периферии необходима количественная детализация этих. Учитывая недостаточность исследований по локализации СВЧ поля до микронного и субмикронного масштаба и решения тепловых задач для таких областей, в данной работе выполнены численные исследования путем совместного решения уравнений Максвелла и теплопроводности (1) методом конечных элементов.

Пространственное распределение тепловыделения качественно повторяет распределения СВЧ поля.

Численное исследование процессов установления распределения температуры в объекте при локальном СВЧ воздействии зондом с коаксиальной апертурой осуществлено решением уравнения (1) при оговоренных граничных условиях.

Прежде всего представляет интерес исследовать динамику времени установления температуры в характерных точках объекта под зондом (рис.1). В точке 2) r = 0, z = 0 имеет место максимум тепловыделения. В точках 1) r = 0, z = R_{1t}; 3) r = R_{1t}, z = 0 и 4) r = 1, z = R_{1t} отражаются количественно временные особенности установления температуры за счет переноса выделенного тепла путем теплопроводности.

Особенности пространственного распределения температуры представлены на рис. 2. Результаты получены при времени воздействия больше необходимого для установления динамического равновесия (t = 1 с).

Из их анализа следует, что для сферической формы острия размеры области нагрева существенно меньше по сравнению с плоской формой. При этом, для последней характерно достижение более высоких температур.

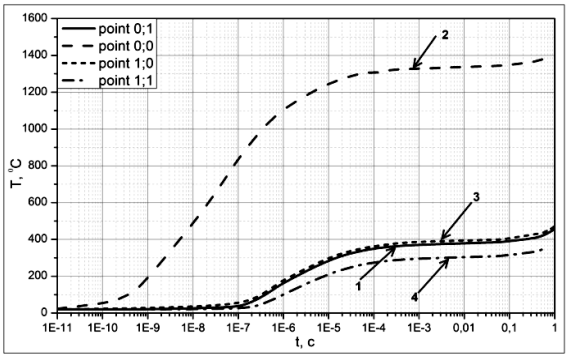

Рис. 1. Зависимость временного распределения температуры для сферического острия при ε=12 и tgδ=0,1.

Fig. 1. Dependence of temporal heat distribution for spherical needlepoint at ε=12 and tgδ=0.1

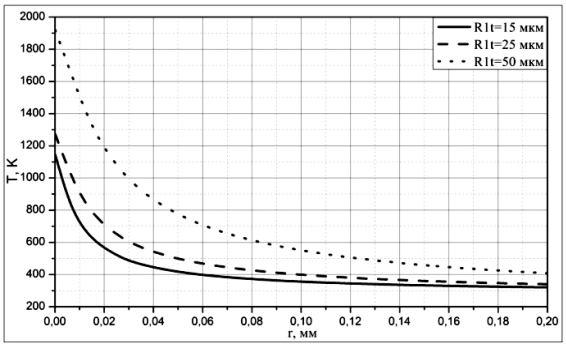

Рис. 2. Пространственное распределение температуры от радиуса зонда для разных форм зонда.

Fig. 2. Spatial temperature distribution from the probe radius for various probe shapes

III. Заключение

Работоспособность представленных принципов высоколокальной СВЧ модификации материалов подтверждается количественным оценками возможного диапазона установления заданной температуры и областью ее локализации. Показано, что при миллисекундном воздействии мощностью менее 500 Вт в кремнии достигаются температуры, необходимые для термического окисления, перелегирования и отжига. При этом локальность модификации может быть не хуже 1 мкм.

IV. References

[1] Didenko A.N. SVCH-jenergetika: Teorija I praktika [Microwave energetics]. Moscow, Nauka, 2003. 446 c.

[2] Yehuda Meir, Jerby E. Localized rapid heating by low-power solid-state microwave drill. *IEEE transactions on microwave theory and techniques,* 2012, vol. 60, No 8.

[3] Gordienko Ju.E., Larkin S.Ju. Jackiv A.M. Blidznepolevoj SVCH datchik na osnove konusnogo koaksial'nogo rezonatora [Near-field microwave sensor based on a conical coaxial resonat*or]. Radiotehnika: nauchn.-tehn. sb.*, 2009, vol. 159, pp. 309-314.

[4] Gordienko Yu.E., Larkin S.Yu., Prokaza A.M. Quantitative estimation of physical processes at a contactless scanning microwave microscopy. *Telecommunications and Radio Engineering,* 2012, vol. 71, No 3, pp. 265-276.

© 2013: CriMiCo'2013 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-395-1. IEEE Catalog Number: CFP13788