

PATTERNS OF MICROWAVE MODIFICATION OF SEMICONDUCTOR THIN FILM STRUCTURES

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

Abstract — The present paper concerns heating, annealing and redoping of semiconductor layered structures using a microwave radiator with a micron-sized aperture. We proposed a variant of such a modifier that is based on a conical coaxial waveguide. The study is focused on localization of heat and specific spatiotemporal distribution of temperature depending on the electrical and thermal parameters of the objects under study.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЧ МОДИФИКАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

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

Аннотация — В работе исследуются особенности нагрева, отжига и перелегирования полупроводниковых слоистых структур при помощи СВЧ излучателей с микроразмерной апертурой. Предложен вариант такого модификатора на основе конусного коаксиального волновода. Основное внимание уделяется локализации тепловыделения и специфике пространственно-временного распределения температуры в зависимости от электрических и тепловых параметров объектов исследования.

I. Введение

Развитие сканирующих зондовых технологий [1] ведет к значительным изменениям в технологиях микро- и нанoeлектроники. В связи с существенным продвижением в области разработки ближнеполевых высоколокальных источников СВЧ электромагнитного поля для сканирующей микроволновой микроскопии (СММ) [2, 3], можно предположить создание и развитие новых, так называемых СВЧ микро- и нанотехнологий. К первым достижениям в этом направлении следует отнести работы, в которых экспериментально показана возможность СВЧ сверления отверстий диаметром около 1 мм в диэлектриках и полупроводниках [4], а также СВЧ диффузионного перелегирования кремния в локальной приповерхностной области [5]. При этом был использован СВЧ аппликатор, являющийся по сути аналогом СВЧ зондов, применяемых в СММ.

Теоретически вопрос высоколокального теплового воздействия СВЧ излучения на полупроводниковые и диэлектрические объекты уже обсуждался нами ранее [6, 7] применительно к однородным образцам. На практике в технологии микрoeлектроники используются тонкопленочные структуры на подложках из различных материалов. Тонкие пленки на полупроводниковых подложках при этом могут быть эпитаксиальными; диэлектрическими в качестве пассивирующих, гетерирующих, легирующих слоев; металлоподобными (силициды) и металлическими с функциональным или технологическим назначением. СВЧ локальный разогрев таких структур является многопараметровым процессом и мало изучен.

Процессы установления температуры в системе «пленка-подложка» при локальном СВЧ разогреве, в принципе, должны существенно зависеть от соотношения электрофизических и тепловых параметров пленки с подложкой. Однако, учитывая их предполагаемый сложный характер, ограничим наши исследования и исключим температурные зависимости параметров структуры «пленка на подложке».

Целью данной работы является получение количественных закономерностей локализации СВЧ тепловыделения, нарастания и распределения температуры в слоистых структурах при локальном их разогреве с использованием СВЧ микромодификатора на основе ближнеполевых источников.

II. Основная часть

В работе численное моделирование и исследование высоколокального СВЧ теплового воздействия на тонкопленочные полупроводниковые структуры базируется на совместном решении уравнений Максвелла и уравнения теплопроводности. Как показано в [7] решение этих уравнений целесообразно осуществить по FDTD алгоритму, в том числе и с использованием метода независимых тепловых потоков.

Исследования проводились на рабочей частоте микромодификатора $f_0 = 8$ ГГц. Мощность на входном порту — 25 Вт. СВЧ воздействие осуществлялось одиночным импульсом с длительностью τ от 10^{-8} до 10^{-3} с. Объектом исследования является тонкая пленка на кремниевой подложке, параметры последней: $C_{\text{подл}} = 703$ Дж/(кг·К); $\lambda_{\text{подл}} = 163$ Вт/(м·К); $\epsilon_{\text{подл}} = 12$. Зазора между острием модификатора и объектом нет. Также пренебрегалось теплоотводом модификатора. В результате расчетов установлено пространственно-временное распределение как плотности СВЧ тепловыделения, так и температуры.

На рис. 1 представлен график распределения СВЧ тепловыделения по радиусу структуры с пленкой толщиной 1 мкм.

Распределение СВЧ тепловыделения по поверхности пленки качественно повторяет распределение СВЧ поля [6]. Тепловыделение растет пропорционально увеличению $\text{tg}\delta_{\text{пл}}$, а его распределение по поверхности подложки не имеет ярко выраженного «трубчатого» характера. Это связано с различием $\epsilon_{\text{подл}}$ и $\epsilon_{\text{пл}}$, а также с толщиной пленки.

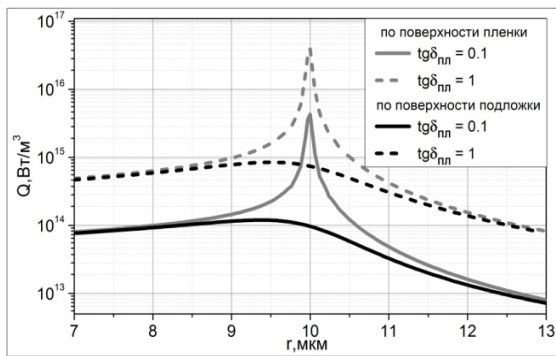


Рис. 1. Распределение СВЧ тепловыделения по радиусу структуры ($h_{пл} = 1 \mu\text{м}$; $R_{1t} = 10 \mu\text{м}$, $\epsilon_{пл} = 5,3$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0,01$).

Fig. 1. Microwave heat distribution along the radius of the structure ($h_{пл} = 1 \mu\text{м}$; $R_{1t} = 10 \mu\text{м}$, $\epsilon_{пл} = 5.3$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

Представленные на рис. 2 зависимости кинетики установления температуры на поверхности объекта от параметров пленки показывают хорошо физически интерпретируемые количественные закономерности. В частности, это резкая зависимость устанавливающейся температуры от толщины пленки, величины $\text{tg}\delta_{пл}$, а также заметное влияния ее теплопроводности.

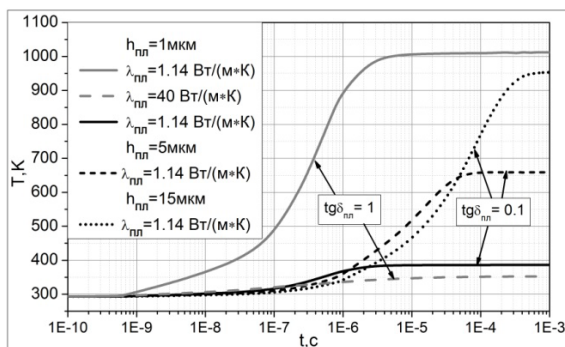


Рис. 2. Динамика установления пространственного распределения температуры ($\text{tg}\delta_{подл} = 0,01$; $\epsilon_{пл} = 5,3$).

Fig. 2. Dynamics of establishing the spatial temperature distribution ($\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$; $\epsilon_{пл} = 5.3$)

Рис. 3 иллюстрирует наиболее информативную зависимость пространственного распределения устанавливающейся в системе температуры от толщины пленки и от соотношения ее теплопроводности с подложкой. Из этих зависимостей убедительно следует высокая управляемость величиной температуры в пленке ее теплопроводностью.

Из рис. 3б видно, что локализация СВЧ нагрева приповерхностной части подложки с весьма ослабленным нагревом пленки осуществима. Это может иметь практическое значение для гетерирования дефектов из приповерхностной области подложки.

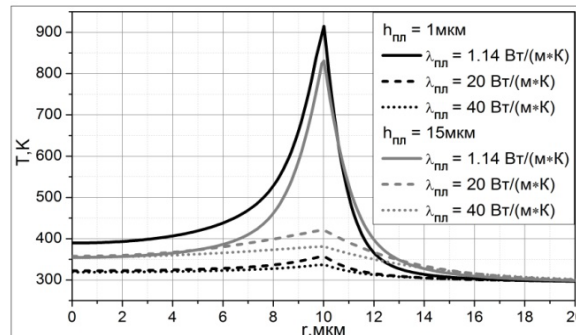
III. Заключение

В результате проведенного численного моделирования были определены: локализация тепловыделения, кинетика и пространственное распределение температуры. Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

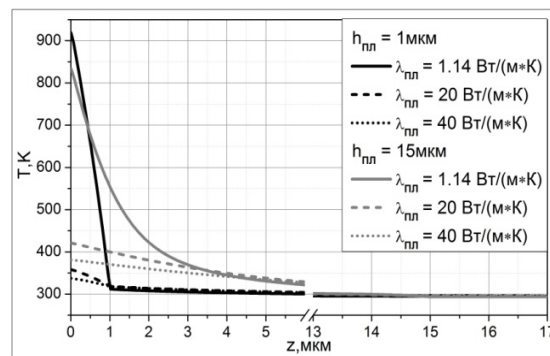
— локальность тепловыделения по радиусу объекта мало зависит от параметров пленки, в отличие

от распределения вглубь исследуемой структуры. Величина тепловыделения существенно зависит как от $\text{tg}\delta$ пленки, так и от ее толщины;

— на кинетику и пространственное распределение температуры в подложке сильно влияет как толщина пленки так и ее тепловые и электрофизические параметры. Фактически можно при $h_{пл} < R_{1t}$ локализовать СВЧ нагрев в пленке, слабо изменяя температуру подложки.



а



б

Рис. 3. Влияние теплопроводности на пространственное распределение температуры ($\epsilon_{пл} = 5,3$; $\text{tg}\delta_{пл} = 1$; $\tau = 1 \mu\text{с}$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0,01$).

Fig. 3. Influence of conductivity on the spatial distribution of temperature ($\epsilon_{пл} = 5.3$; $\text{tg}\delta_{пл} = 1$; $\tau = 1 \mu\text{s}$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

IV. References

- [1] V. L. Mironov Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii. [Basics of scanning probe microscopy] // Nizhniy Novgorod: RAN, Institut fiziki mikrostruktur. 2004. 114p.
- [2] Steven M. Anlage, Vladimir V. Talanov, Andrew R. Schwartz Principles of near-field microwave microscopy // Scanning probe microscopy. Electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale. 2007. Vol.1. P. 215-253.
- [3] Gordiyenko Yu.E., Kamysan A. A., Larkin S.Yu. Comparative analysis of characteristics of the resonator probes for SMM // Radioelektronika i informatika. 2011. N 1. P.24-29.
- [4] Jerby E, Herskowits R., Livshiy P. Silicon heating by a microwave-drill applicator with optical thermometry // Semiconductor Science and Technology. 2007, №22. P. 863-869.
- [5] Livshits P., Dikhtyar V., Inberg A., Shahadi A., Jerby E. Local doping of silicon by a point-contact microwave applicator // Microelectronic engineering. 2011. Vol.88. P.2831-2836.
- [6] Y. E. Gordienko, D. A. Poletaev A. M. Prokaza, N. I. Slipchenko Highly localized microwave heating of semiconductors and dielectrics // Applied Radio Electronics: Sci. Mag. – 2013. Vol. 12. № 3. – P. 452-458.
- [7] Gordienko Yu.Ye., Taran Ye.P. The model of numerical investigation of highly localized thermal effect of the microwave electromagnetic field upon semiconductive substances // Telecommunications and radio engineering, 2013. Vol.72, №20, P.1899 – 1913.