

демическая, 1, тел. (057)335-63-94. e-mail: sporov@kipt.kharkov.ua

Федорченко Дмитрий Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент, ст. научный сотрудник Национального Научного Центра Харьковский Физико-технический институт (ННЦ ХФТИ). Научные интересы: методы Монте-Карло, математическое моделирование. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел. (057)335-65-94, e-mail: fdima@kipt.kharkov.ua

УДК536.331

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЛОКАЛЬНОГО СВЧ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

*ГОРДИЕНКО Ю.Е., ПЯТАЙКИНА М.И.,
ЛАРКИН С.Ю., ПОЛИЩУК А.В., ПРОКАЗА А.М.,
СЛИПЧЕНКО Н.И.*

Исследуются особенности применения микроволнового излучения как средства высоколокального нагрева, отжига и перелегирования полупроводниковых слоистых структур при помощи ближнеполевых СВЧ излучателей с микроразмерной апертурой. Предлагается 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. Показывается, что при определенном соотношении параметров пленки и подложки возможно также осуществить геттерирование дефектов из подложки.

1. Введение

В современной технологии субмикронных элементов электронной техники традиционные приемы локализации модифицирующего воздействия на функциональные структуры исчерпывают свой предел применения. Поэтому, например, вместо лазерных технологий отжига предлагается использовать СВЧ поверхностный кратковременный нагрев [1, 2] и т.п.

Развитие сканирующих зондовых технологий [3, 4] обещает коренное изменение принципов технологии микро- и наноэлектроники. Учитывая прогресс в области разработки ближнеполевых высоколокальных источников СВЧ электромагнитного поля для сканирующей микроволновой микроскопии (СММ) [5, 6], 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 около 1 мм диаметром в диэлектриках и пластинах полупроводников [7, 8], а также СВЧ диффузионного перелегирования

Хажмурадов Манап Ахмадович, д-р техн. наук, профессор, начальник отдела Национального Научного Центра Харьковский Физико-технический институт (ННЦ ХФТИ). Научные интересы: методы Монте-Карло, математическое моделирование, автоматизированные системы управления. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел. (057)335-68-46, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

кремния в локальной приповерхностной области [9]. При этом был использован СВЧ аппликатор, являющийся по сути некоторым аналогом СВЧ зондов, применяемых в СММ. В цитированных выше работах по СВЧ микроскопии показано, что локальность таких зондов может достигать десятых и сотых долей микрона. Следовательно, для СВЧ микротехнологий характерными могут быть субмикронные размеры реализуемых областей.

Теоретически вопрос высоколокального СВЧ теплового воздействия на полупроводниковые и диэлектрические объекты уже обсуждался нами в работах [10, 11] применительно к однородным образцам. Реальные объекты в технологии микроэлектроники являются тонкопленочными структурами на различных подложках. Тонкие пленки на полупроводниковых подложках при этом могут быть эпитаксиальными; диэлектрическими в качестве пассивирующих, геттеризирующих, легирующих слоев; металлоподобными (силициды) и металлическими с функциональным или технологическим назначением. СВЧ локальный разогрев таких структур является многопараметровым процессом и абсолютно не изучен.

Процессы установления температуры в системе “пленка-подложка” при локальном СВЧ разогреве, в принципе, должны существенно зависеть от соотношения электрофизических, включая и тепловые, параметров пленки и подложки. Применительно к локальному СВЧ разогреву тонкопленочных полупроводниковых структур до сих пор исследования не производились. Учитывая предполагаемый сложный их характер, целесообразно вначале ограничить такие исследования, не рассматривая температурные зависимости параметров структуры “пленка на подложке”.

Целью данной работы является получение количественных сведений о локализации СВЧ тепловыделения и возникающего распределения температуры в слоистых структурах при локальном их разогреве с использованием СВЧ микромодификатора на основе ближнеполевых излучателей. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- используя ранее разработанный метод численного исследования, установить зависимость СВЧ локального тепловыделения от параметров пленки;
- решая численно уравнение теплопроводности для полученных источников, количественно исследовать пространственно-временное распределение темпера-

туры в образце без учета температурных зависимостей параметров системы;

– из анализа полученных результатов оценить возможности локализации СВЧ тепловой модификации в системе “пленка-подложка”.

2. Общие положения и соотношения

В разрабатываемых СВЧ микротехнологиях в отличие от традиционного СВЧ нагрева макрообъектов СВЧ излучатели должны иметь микроразмерную апертуру. Как уже отмечалось, при их проектировании можно использовать опыт разработки СВЧ ближнеполевых зондов для СММ. В частности, наибольшее распространение могут получить СВЧ микромодификаторы с коаксиальной апертурой на основе коаксиальных, прямоугольных или даже полосковых волноводов. Схематично апертурный узел подобных модификаторов представлен на рис.1,а со встраиванием его в конусный коаксиальный волновод. На рис. 1,б в деталях схематично представлен апертурный узел со слоистым полупроводниковым объектом (тонкая полупроводниковая или диэлектрическая пленка на полупроводниковой подложке) с набором характеризующих его параметров.

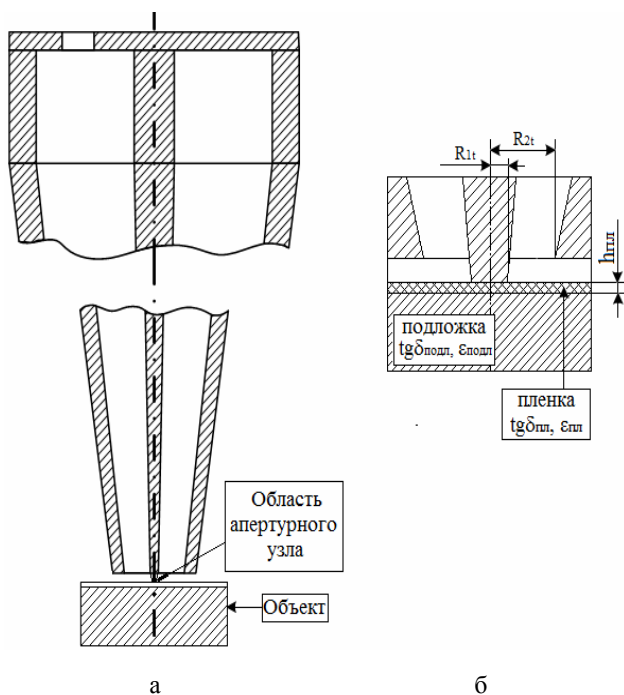


Рис. 1. Схематическое изображение СВЧ микромодификатора

Численное моделирование и исследование высоколокального СВЧ теплового воздействия на тонкопленочные полупроводниковые структуры в работе базируется на совместном решении уравнений Максвелла и уравнения теплопроводности. Для осесимметричной геометрии микромодификатора (см.рис.1) эти уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{\partial E_{ri}}{\partial t} = (\epsilon_i \epsilon_0)^{-1} \left(\frac{\partial H_{\phi i}}{\partial z} + \sigma_i E_{ri} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial E_{zi}}{\partial t} = (\epsilon_i \epsilon_0)^{-1} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (r H_{\phi i})}{\partial r} - \sigma E_{zi} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial H_{\phi i}}{\partial t} = (\mu_i \mu_0)^{-1} \left(\frac{\partial E_{zi}}{\partial r} - \frac{\partial E_{ri}}{\partial z} \right); \quad (3)$$

$$C_p \frac{\partial T(r, z)}{\partial T} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \right] + q(r, z, t), \quad (4)$$

где ϵ_0 и μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума, соответственно; E_{ri} , H_{ri} , E_{zi} , H_{zi} – напряженности СВЧ поля в свободном пространстве и в разных частях электродинамической системы; ϵ_i , μ_i – диэлектрическая и магнитная проницаемости заполнения i -й области; σ_i – электропроводность материала заполнения i -й области; $T(r, z)$ – искомое пространственное распределение температуры в объеме объекта; C , ρ , λ – удельная теплоемкость, удельная плотность, коэффициент теплопроводности материала объекта, соответственно; $q(r, z)$ – удельная мощность тепловых источников.

Решение уравнений Максвелла (1)-(3) находится при выполнении следующих граничных условий:

на проводящих стенках коаксиального волновода:

$$E_{\tau i}(R_{cti}, z) = \frac{1+j}{\sigma_{cti} \cdot \delta_{cti}} [\vec{H}_i, \vec{n}_0]; \quad [\vec{H}_i, \vec{n}_0] = \vec{J}_{si}, \quad (5)$$

где $E_{\tau i}$ – тангенциальная составляющая напряженности СВЧ электрического поля; \vec{J}_{si} – вектор поверхностной плотности тока; \vec{n}_0 – вектор нормали к границе; \vec{H}_i – вектор магнитного поля; δ_{cti} – глубина скин-слоя в стенках; σ_{cti} – удельная электропроводность материала стенок.

На границе “свободное пространство-полупроводник”:

$$E_{1n} = \epsilon_2 E_{2n}; E_{1\tau} = E_{2\tau};$$

$$[\vec{n}_0, (\vec{H}_1 - \vec{H}_2)] = \sigma \vec{E}_2 = \omega \epsilon \epsilon_0 \operatorname{tg} \delta \vec{E}_2, \quad (6)$$

где σ – удельная электропроводность полупроводника; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь полупроводника; ω – циклическая частота СВЧ поля; H_1 и H_2 – напряженность магнитного поля в свободном пространстве и полупроводнике, соответственно, на границе “свободное пространство-полупроводник”; E_1 и E_2 – напряженности электрического поля в свободном пространстве и полупроводнике; \vec{n}_0 – вектор нормали к границе “свободное пространство-полупроводник”; $E_{1\tau}$, $E_{2\tau}$, E_{1n} , E_{2n} – тангенциальные и нормальные составляющие напряженности электрического поля в свободном пространстве и в полупро-

воднике на границе “свободное пространство-полупроводник”.

При решении уравнения теплопроводности (4) на границах объекта должны выполняться следующие условия:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{гр}} = -\frac{\alpha}{\lambda} (T_{\text{пов}} - T_{\text{о.ср}}), \quad (7)$$

где α – коэффициент теплопередачи поверхности объекта; $T_{\text{пов}}$ – температура поверхности объекта; $T_{\text{о.ср}}$ – температура окружающей среды.

Удельная мощность тепловыделения источников в общем виде выражается соотношением:

$$q(r, z, t) = \sigma(E_r^2 + E_z^2), \quad (8)$$

Как показано в [11], решение этих уравнений целесообразно осуществить по FDTD алгоритму, в том числе с использованием метода независимых тепловых потоков.

Полный алгоритм решения самосогласованной задачи СВЧ локального тепловыделения и пространственно-временного установления температуры разбивается на следующие этапы:

- задание геометрии модификатора и электрофизических параметров объекта;
- введение режима СВЧ питания по возбуждению волновода (мощность на входном порту, временной характер воздействия и др.);
- определение плотности распределения тепловых источников в объекте через найденное из решения уравнений Максвелла для всех частей электродинамической системы “микромодификатор - объект” распределение СВЧ электрического поля в объекте;
- решение тепловой задачи на заданном временном интервале;
- расчет пространственного распределения электрофизических параметров объекта в случае необходимости учета их температурной зависимости.

Напомним, что, как было указано выше, в данной работе последний этап не реализовывался.

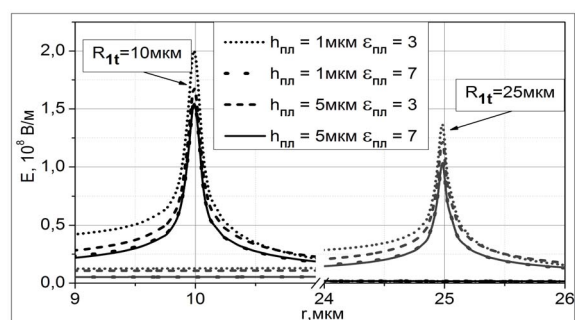
Исследования производились на рабочей частоте микромодификатора $f_0 = 8$ ГГц. Мощность на входном порту составляла 25 Вт. СВЧ воздействие осуществлялось одиночным импульсом с длительностью от 10^{-8} до 10^{-3} с. Объектом исследования была тонкая пленка на кремниевой подложке, параметры которой: $C_{\text{подл}} = 703$ Дж/(кг·К); $\lambda_{\text{подл}} = 163$ Вт/(м·К); $\epsilon_{\text{подл}} = 12$. Зазор между острием модификатора и объектом считался нулевым. Также пренебрегалось теплоотводом модификатора.

3. Результаты исследования

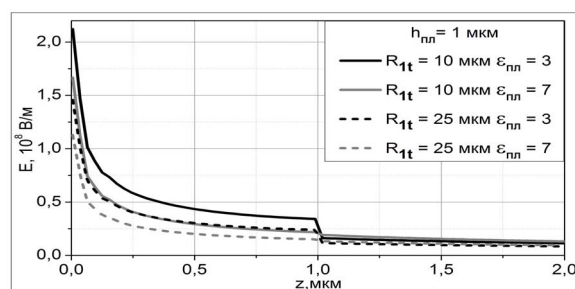
Выполненное в работе численное моделирование локального СВЧ воздействия на слоистую полупроводниковую структуру позволило установить: простран-

ственно-временное распределение СВЧ электрического поля в системе, плотность тепловыделения и температуры.

На рис.2,а,б приведено пространственное распределение СВЧ электрического поля при двух значениях радиуса острия модификатора ($R_{1t} = 10$ мкм и $R_{1t} = 25$ мкм). Рис.2,а позволяет количественно подчеркнуть ту особенность, что толщина пленки практически не влияет на поперечную локализацию СВЧ поля в объекте.



а



б

Рис. 2. Пространственное распределение СВЧ электрического поля

Существенно также влияет на величину напряженности СВЧ поля в объекте и ее распределение по глубине значение диэлектрической проницаемости материала пленки. С ее уменьшением поле в пленке возрастает, в том числе, и вследствие лучшего согласования модификатора с объектом.

Отдельные исследования показывают, что заметное влияние электропроводности пленки на величину поля в ней начинает появляться только при $\text{tg} \delta_{\text{пл}} > 1$.

При более детальном исследовании и анализе складываются количественные представления о следующей физической модели СВЧ локального воздействия ближнеполевого модификатора на объект.

Ближнее СВЧ поле модификатора в контактном режиме (зазор равен нулю) при $\epsilon_{\text{пл}} < 10$; $\text{tg} \delta_{\text{пл}} < 1$ и $h_{\text{пл}} > R_{1t}$ имеет поперечное пространственное распределение, аналогичное исходному (без пленки). Абсолютное его значение при этом уменьшается с увеличением $\epsilon_{\text{пл}}$. При $\text{tg} \delta_{\text{пл}} > 1$ поле дополнительно ослабляется. При этом, кроме обычной физической природы СВЧ поляризации диэлектриков и полупро-

водников, сказывается еще и влияние объекта на согласование в линии передачи.

При $h_{пл} < R_{1t}$ картина качественно не изменяется, за исключением того, что в подложке появляется заметное по величине СВЧ поле. Количественно проявляется та особенность, что СВЧ поле в подложке зависит от $\epsilon_{пл}$; $h_{пл}$.

Основной целью исследований распределения СВЧ поля здесь является получение более глубоких представлений о физической природе пространственно-временного распределения тепловых источников для температурной части задачи. На рис.3 представлено распределение плотности тепловыделения по глубине образца. (Предыдущие результаты убеждают, что параметры пленки на поперечное распределение СВЧ воздействия существенно не влияют).

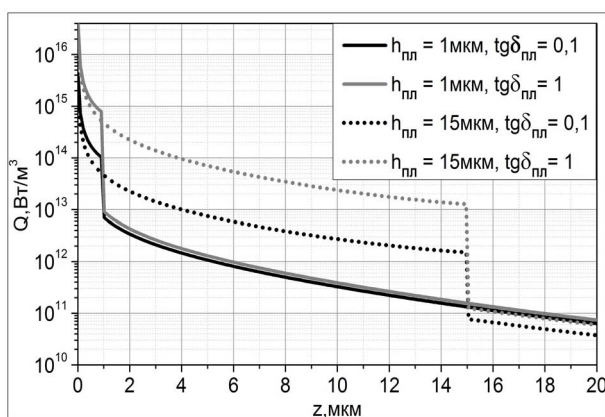


Рис. 3. Пространственное распределение тепловыделения по глубине структуры ($R_{1t} = 10\text{мкм}$, $\epsilon_{пл} = 5.3$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

Наличие скачка при $z = h_{пл}$ и слабая зависимость Q при $z = 0$ от $\text{tg}\delta_{пл}$ свидетельствует о преимущественно ближнеполевом характере изменения тепловыделения по сравнению с рассогласованием в линии. Основной причиной этого может быть согласующее действие конусности линии, питающей апертурный узел. На рис.4 представлен график распределения СВЧ тепловыделения по радиусу структуры для пленки толщиной 1 мкм.

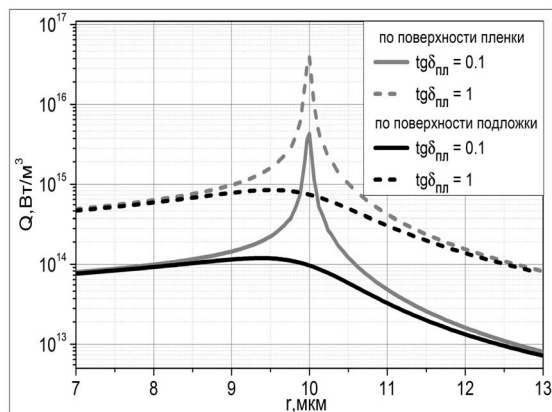


Рис. 4. Распределение СВЧ тепловыделения по радиусу структуры ($h_{пл} = 1\text{мкм}$; $R_{1t} = 10\text{мкм}$, $\epsilon_{пл} = 5.3$; $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

Распределение СВЧ тепловыделения по поверхности пленки качественно повторяет распределение СВЧ поля, представленное на рис.2. Тепловыделение растет пропорционально увеличению $\text{tg}\delta_{пл}$. Распределение тепловыделения по поверхности подложки не имеет ярко выраженного “трубчатого” характера. Это связано с различием $\epsilon_{подл}$ и $\epsilon_{пл}$, а также с толщиной пленки.

Представленные на рис.5 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 и величины $\text{tg}\delta_{пл}$. Особенностью также является заметное влияние теплопроводности материала пленки.

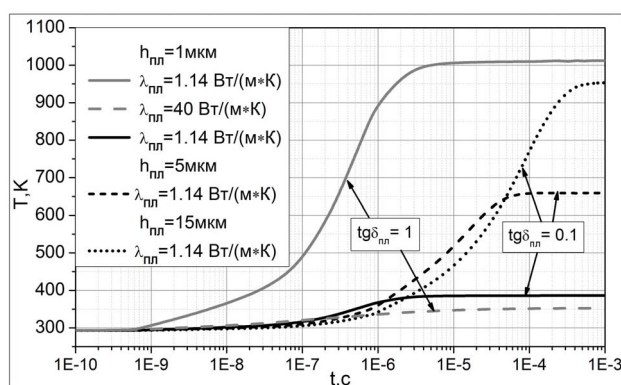
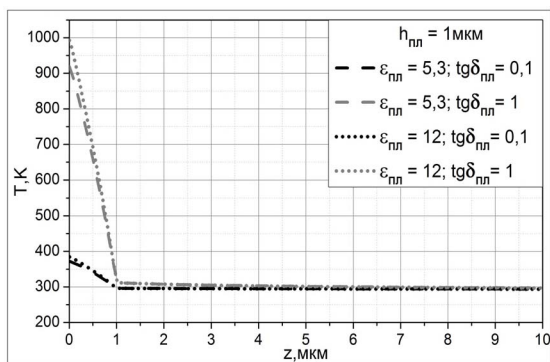


Рис. 5. Динамика установления пространственного распределения температуры ($\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$; $\epsilon_{пл} = 5.3$)

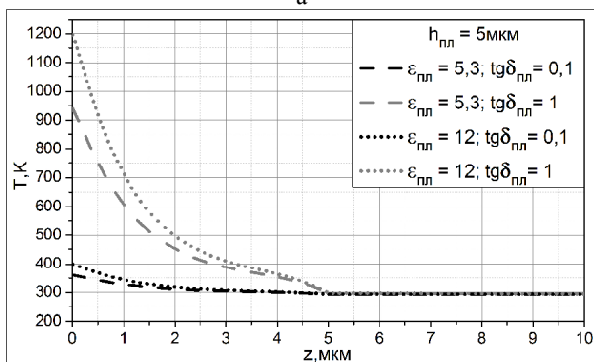
Рис. 6 – 8 иллюстрируют наиболее информативную зависимость пространственного распределения устанавливающейся в системе температуры от толщины пленки (при $h_{пл} < R_{1t}$); значения $\epsilon_{пл}$ и $\text{tg}\delta_{пл}$; а также от соотношения ее теплопроводности с подложкой. Из этих зависимостей убедительно следует высокая управляемость величиной температуры в пленке значением $\text{tg}\delta_{пл}$ и ее теплопроводностью. Фактически можно при $h_{пл} < R_{1t}$ локализовать СВЧ нагрев в пленке, слабо изменяя температуру подложки.

Как видно из рис.7,а, поперечное распределение температуры мало зависит от толщины пленки, в то время как распределение ее вглубь слоистой структуры имеет характерные перепады на границе пленки с подложкой. Величина теплопроводности сильно влияет на скорость и локальность нагрева.

Из рис.8 можно сделать вывод, что локализация СВЧ нагрева приповерхностной части подложки с весьма ослабленным нагревом пленки осуществима. Этот результат важен как новый принципиальный факт. Практическое значение он может иметь для гетерирования дефектов из приповерхностной области подложки.

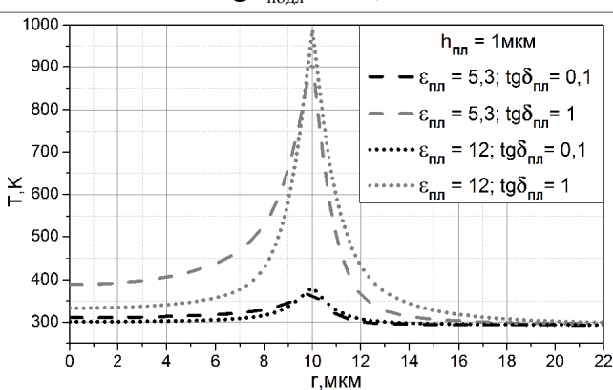


а

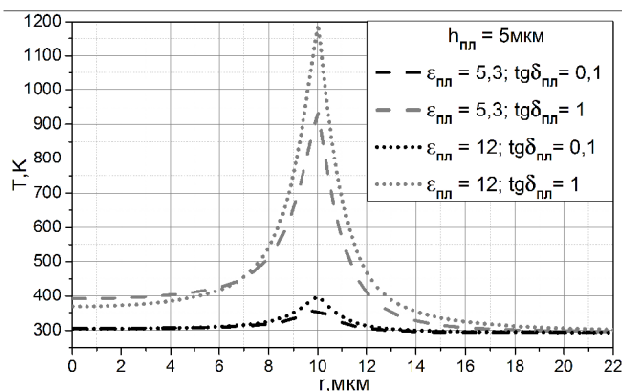


б

Рис. 6. Распределение температуры по глубине объекта ($R_{lt} = 10\text{мкм}$, $\tau = 1\text{мкс}$; $\lambda_{пл} = 1.14\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)



а

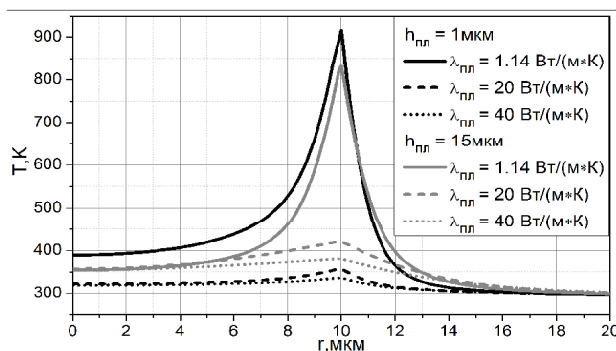


б

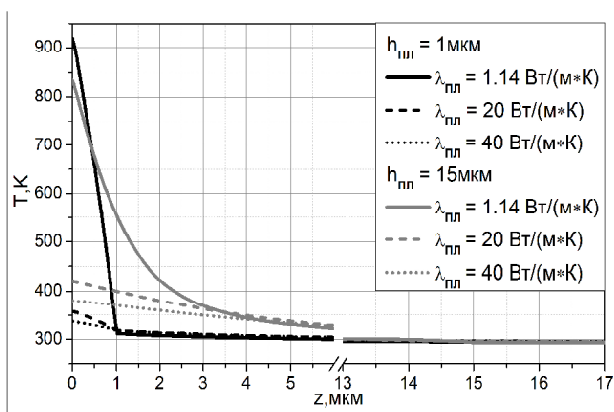
Рис. 7. Распределение температуры по радиусу объекта ($R_{lt} = 10\text{мкм}$, $\tau = 1\text{мкс}$; $\lambda_{пл} = 1.14\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

Как видно из рис. 7, а, поперечное распределение температуры мало зависит от толщины пленки, в то время как распределение ее вглубь слоистой структуры имеет характерные перепады на границе пленки с подложкой. Величина теплопроводности сильно влияет на скорость и локальность нагрева.

Из рис. 8 можно сделать вывод, что локализация СВЧ нагрева приповерхностной части подложки с весьма ослабленным нагревом пленки осуществима. Этот результат важен как новый принципиальный факт. Практическое значение он может иметь для гетерирования дефектов из приповерхностной области подложки.



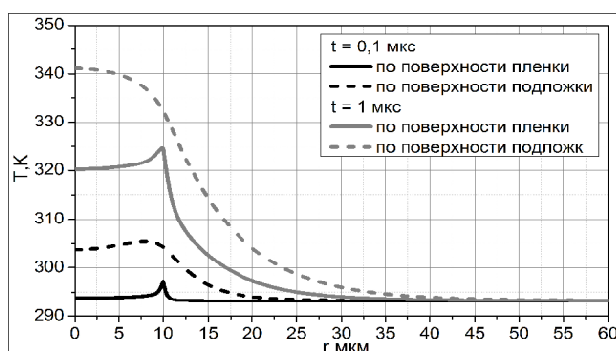
а



б

Рис. 8. Влияние теплопроводности на пространственное распределение температуры ($\epsilon_{пл} = 5.3$; $\text{tg}\delta_{пл} = 1$; $\tau = 1\text{мкс}$, $\text{tg}\delta_{подл} = 0.01$)

На рис. 9 приведены результаты исследования распределения температуры для разного времени воздействия при $\text{tg}\delta_{пл} \ll \text{tg}\delta_{подл}$, $\lambda_{пл} = 1.14\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\epsilon_{пл} = 5.3$.



а

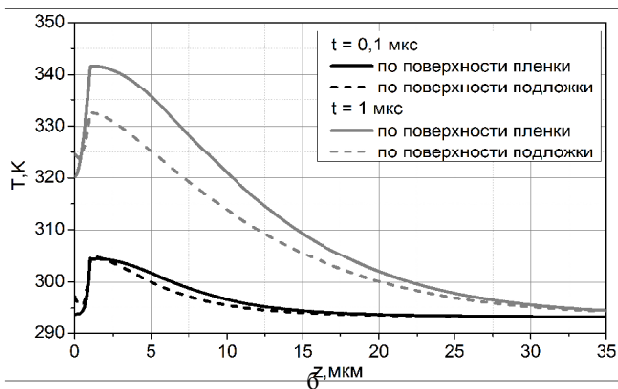


Рис. 9. Пространственное распределение температуры по поверхности пленки и подложки (а), а также вглубь объекта (б) ($h_{пл} = 1$ мкм; $tg\delta_{пл} = 0.01$; $tg\delta_{подл} = 1$)

Данный эффект также возможно использовать для гетерирования дефектов приповерхностной области подложки.

4. Выводы

В результате проведенного численного моделирования высоколокального воздействия СВЧ излучения на слоистую структуру объекта исследования были определены: пространственное распределение поля в объекте, локализация тепловыделения, кинетика и пространственное распределение температуры. Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- толщина пленки практически не влияет на поперечную локализацию СВЧ поля в объекте, однако сказывается на продольном его распределении (по глубине). Более весомое влияние оказывают электрофизические параметры пленки: с уменьшением $\epsilon_{пл}$ поле в пленке возрастает; влияние $tg\delta$ пленки на величину поля в ней начинает заметно проявляться только при $tg\delta_{пл} > 1$;

- локальность тепловыделения по радиусу объекта мало зависит от параметров пленки, в отличие от распределения вглубь исследуемой структуры. Величина тепловыделения существенно зависит как от $tg\delta$ 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.

Управляя временем воздействия, можно достичь различного соотношения нагрева пленки и подложки при условии, что $tg\delta_{пл} < tg\delta_{подл}$. Один из возможных вариантов использования этого явления – гетерирование дефектов приповерхностной области подложки.

Литература: 1. *МОП-СБИС*. Моделирование элементов и технологических процессов / Под ред. П. Антоннети, Д. Антониадиса и др. М.: Радио и связь, 1988. 496 с. 2. *Thompson Keith*, Booske J.H., Ives R.L. Millisecond microwave

annealing: Driving microelectronics nano // Journal of vacuum Science and Technology. Microelectronics and Nanometer Structures. 2005. Vol.23, №3. P.970-978. 3. *Неволин В.К.* Основы туннельно-зондовой нанотехнологии. М.: МИЭТ, 1996. 90с. 4. *Koyanagi H.*, Hosaka S., Imura R., Shirai M. // Appl. Phys. 1995. Vol.67. P.2609-2611. 5. *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.I. P. 215-253. 6. *Гордиенко Ю.Е., Камышан А.А., Ларкин С.Ю.* Сравнительный анализ характеристик резонаторных зондов для СММ // Радиоэлектроника и информатика. Электроника. 2011. №1. С.24-29. 7. *Jerby E*, Herskowitz R., Livshits P. and et al. Silicon heating by a microwave-drill applicator with optical thermometry // Semiconductor Science and Technology. 2007, №22. P. 863-869. 8. *Yehuda Mair and Eli Jerby* Localized rapid heating by low-power solid-state microwave drill // Transactions on microwave theory and techniques. 2012. Vol.60, №8. P. 2665-2672. 9. *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. 10. *Гордиенко Ю.Е., Поletaев Д.А., Проказа А.М., Слипченко Н.И.* Высоколокальный СВЧ нагрев полупроводников и диэлектриков // Прикладная радиоэлектроника. 2013. Т.12, №3. С.452-458. 11. *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.

Поступила в редколлегию 12.09.2013

Рецензент: д-р физ.-мат.наук, проф. Должиков В.В.

Гордиенко Юрий Емельянович, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник каф. микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: СВЧ диагностика материалов и объектов, микроэлектронные датчики. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-13-62.

Пятайкина Мария Игоревна, аспирантка каф. микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: СВЧ диагностика и модификация материалов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-13-62.

Ларкин Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, ген. директор ЗАО “НПК Наука”. Адрес: Украина, 03148, Киев, пр. 50-летия Октября, 2-б, тел. +38-044-236-10-85.

Полищук Александр Викторович, аспирант каф. микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: техника СВЧ, бесконтактные методы диагностики. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-13-62.

Проказа Александр Михайлович, м.н.с. каф. микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: СВЧ диагностика и модификация материалов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-13-62.

Слипченко Николай Иванович, д-р физ.-мат. наук, проф. каф. микроэлектроники, электронных приборов и устройств, проректор по научной работе ХНУРЭ. Научные интересы: солнечная энергетика, микроволновая микроскопия материалов и сред. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-13-62.