

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЧ ТЕРМООБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Д.М. Кузнецов, И.В. Назаров, М.С. Помогаев, Т.А. Потапова
Московский государственный институт электроники и математики
E-mail: lmis@miem.edu.ru

The distribution of electromagnetic field in sheet materials placed in microwave devices based on two-dimensional periodic slow-wave structures are investigated. The distribution of temperature field in materials with different electrophysical parameters are investigated. The results obtained confirm the possibility of even heating of treated samples.

Для термообработки диэлектрических материалов с малыми потерями используются замедляющие системы (ЗС), поскольку они позволяют обеспечить заранее определенную картину распределения электромагнитного поля, а также сконцентрировать СВЧ энергию в объеме, непосредственно занимаемом нагреваемым материалом [1, 2]. Для обеспечения высокоэффективного нагрева материалов больших площадей в качестве нагревательного элемента наиболее целесообразно использовать развитые по площади двумерно-периодические структуры. Их применяют для нагрева различных пластических масс: плексигласа, эбонита, полипропилена, полистирола, полиэтилена с различными наполнителями в виде красителей перед прессованием или штамповкой, а также при термообработке некоторых полупроводниковых материалов.

Конструкция двумерно-периодической ЗС образована проводниками одноступенчатой многопроводной линии, расположенными параллельно друг другу (рис. 1).

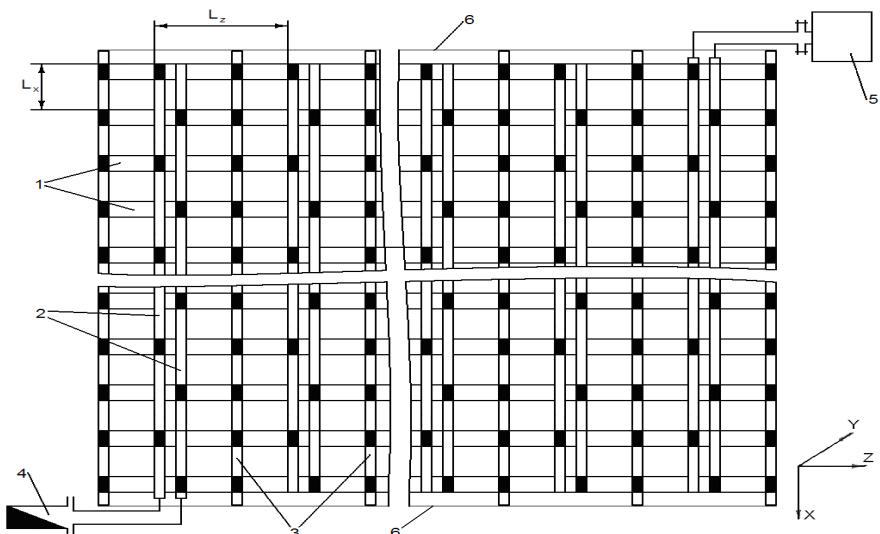


Рис. 1. Конструкция двумерно-периодической ЗС: L_z – период системы вдоль оси z , L_x – период вдоль оси x , 1 – проводники, 2 – «связки», 3 – индуктивные диафрагмы, 4 – источник СВЧ энергии, 5 – нагрузка, 6 – экран

На проводниках в периодической последовательности размещены элементы конструкции – индуктивные диафрагмы – между которыми находятся элементы типа «двойные связки». Индуктивные диафрагмы имеют электрический контакт с каждым проводником, а места контакта связок с проводниками сдвинуты относительно друг друга на расстояние L_x .

В системе трехмерного электромагнитного моделирования Ansoft HFSS была разработана геометрическая модель двумерно-периодической ЗС (рис. 2). Параметры исследуемой системы: частота излучения источника СВЧ энергии 2,45 ГГц, мощность источника 600 Вт, число периодов системы вдоль оси x $N_x=20$, длина одного периода вдоль оси x $L_x=12$ мм, высота этажа $L_z=20$ мм, длина $l=263$ мм. Характеристики материала: толщина 1 мм, относительная диэлектрическая проницаемость материала $\epsilon'=3,4$, тангенс диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta=0,006$, плотность материала 1180 кг/м³, теплоемкость материала 800 Дж/(кг·К).

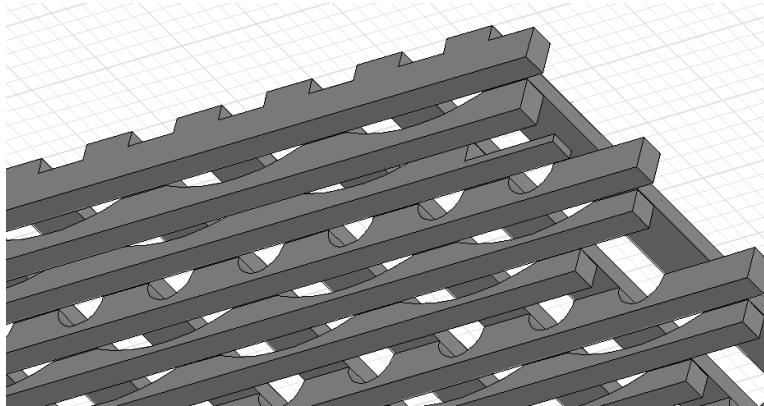


Рис. 2. Вид решетки геометрической модели ЗС

В результате моделирования получено распределение электромагнитного поля на нижней поверхности плоского диэлектрического материала, расположенного на двумерно-периодической ЗС. Для расчета распределения температуры в исследуемом материале использовался рассчитываемый в системе HFSS коэффициент удельной поглощенной мощности – Specific Absorption Rate (рис. 3). Источник СВЧ энергии подключен в центр ЗС по оси x , бегущая волна распространялась вдоль оси z .

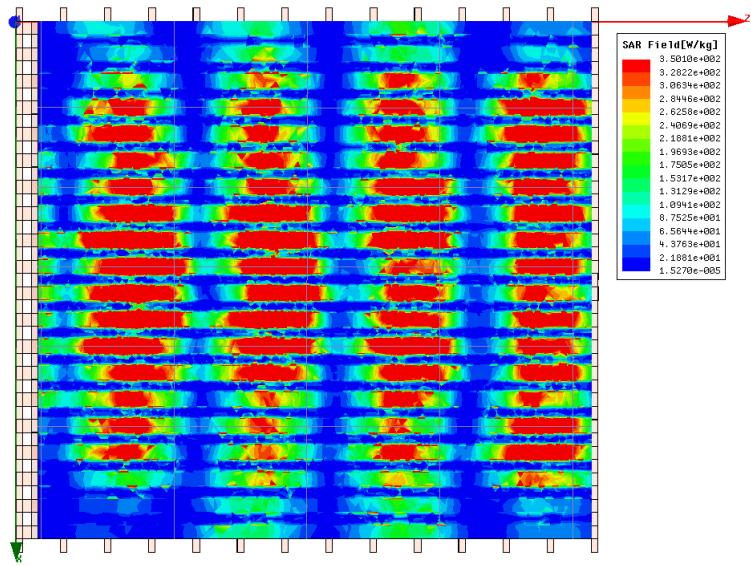


Рис. 3. Распределение удельной поглощенной мощности на нижней стенке исследуемого материала

На рис. 4 представлены скорости нагрева листа материала вдоль оси z по его центральной линии.

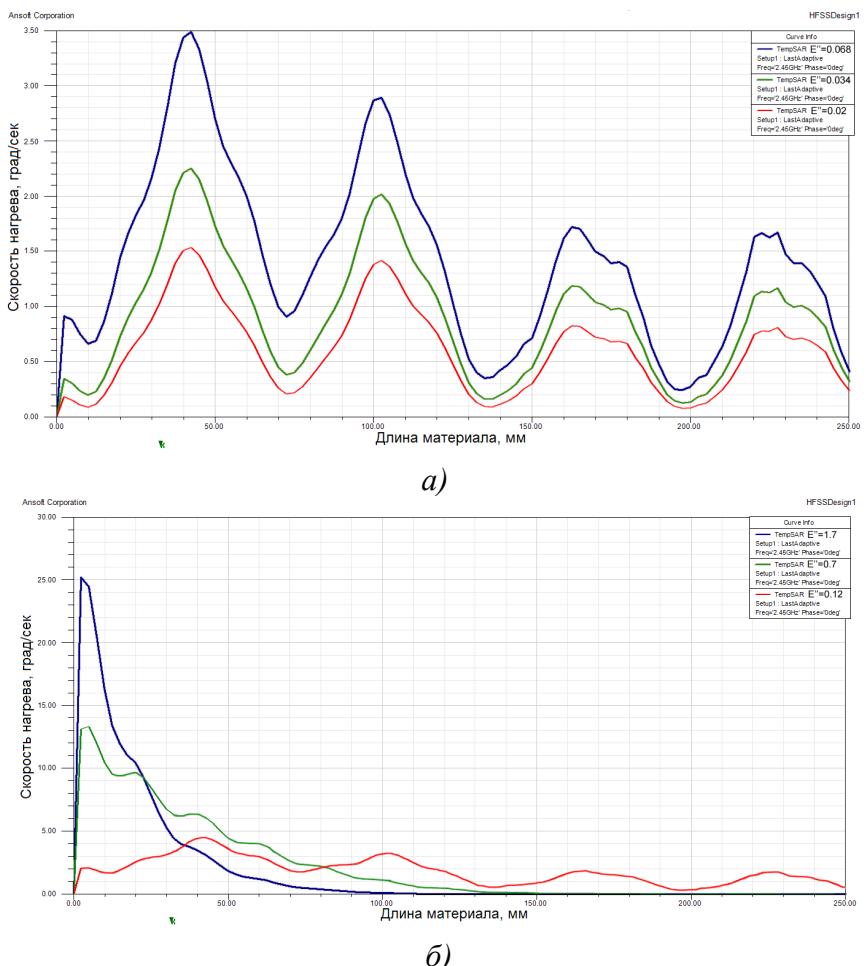


Рис. 4. Скорости нагрева: а) материалов с малыми потерями (0,02; 0,034; 0,068), б) материалов со средними и высокими потерями (0,12; 0,7; 1,7)

Исследовались материалы с различными значениями мнимой части комплексной относительной диэлектрической проницаемости (ε''). Для материалов с малыми потерями наблюдается известный из теории экспоненциальный спад поглощенной мощности вдоль направления распространения волны. Для материалов со средними и высокими потерями скорость нагрева на порядок выше. При ширине материала более 50 мм происходит уменьшение поглощаемой мощности (примерно на порядок), что накладывает ограничения на размеры обрабатываемого листового материала.

Таким образом, при помощи моделирования показана возможность использования двумерно-периодических ЗС для нагрева тонких листовых материалов с малыми диэлектрическими потерями.

1. В.Н. Нефедов. Сверхвысокочастотные устройства для термообработки диэлектрических материалов больших площадей (обзор). // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, вып. 2. – 1998. – С. 32–35.
2. В.Н. Нефедов. Расчет многоэтажных замедляющих систем для устройств СВЧ нагрева. // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, вып. 1. – 2001. – С. 42–49.