

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА

Козлова Т.А., Шелухин К.А., Хатько В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Моделирование процессов теплообмена в газовых сенсорах на основе тонких диэлектрических мембран играет большую роль при оптимизации конструкции сенсора с целью достижения им минимальной потребляемой мощностью. Объектом исследования были выбраны тонкопленочные газовые сенсоры, изготовленные по технологии микрообработки кремниевых подложек с использованием диэлектрических мембран на основе оксида/нитрида кремния и/или оксида алюминия. В настоящей работе проведено моделирование тепловых характеристик данного сенсора. В качестве изменяемых параметров для моделирования выбраны геометрические размеры платинового нагревателя: его ширина и толщина.

Конструкция газового сенсора включает кремниевую подложку, содержащую диэлектрическую мембрану расположенную в центре подложки имеющую размеры $1350 \times 1350 \times 1$ мкм. Моделирование проводилось на трех типах мембран: анодированном оксиде алюминия (АОА); нитрид кремния (Si_3N_4) – анодированный оксид алюминия; оксид кремния – нитрид кремния – анодированный оксид алюминия. Платиновый нагреватель представлял собой меандр с толщиной изменяемой от 0,1 до 0,5 мкм и шириной дорожки 10, 15, 20 мкм (рисунок 1). На нагреватель сенсора подавалось напряжение от 0,1 до 0,6 В.

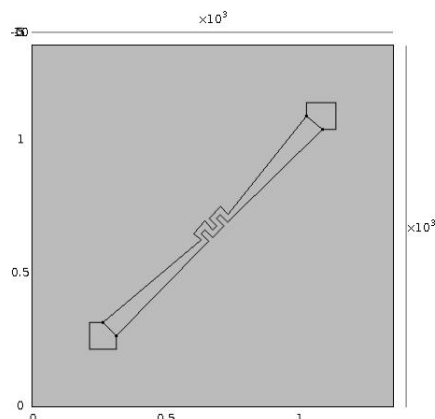


Рисунок 1 – Вид полупроводникового газового сенсора сверху

Расчет потребляемой мощности нагревателя газового сенсора выполнен на основе конечно-элементное моделирование процесса распространения тепла по конструкции сенсора. Сетка конечных элементов состояла из 28708 элементов домена, 28792 граничных элементов и 874

краевых элементов. Свободные треугольные элементы использовались для разбиения подложки и металлизации. Для нагревателя и мембраны использовались структурированные трёхслойная и пятислойная сетки, соответственно.

На рисунке 2 и 3 представлены результаты расчета максимальной температуры нагрева однослойной мембраны из анодного оксида алюминия в зависимости от толщины нагревателя (при напряжении 0,5 В) и напряжения приложенного к нему (толщина нагревателя $d = 0,4$ мкм).

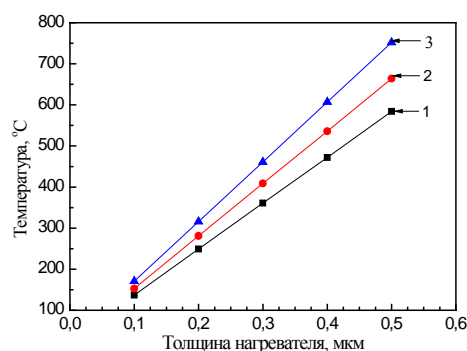


Рисунок 2 – Зависимость максимальной температуры нагрева однослойной мембраны от толщины нагревателя при напряжении 0,5 В (1, 2 и 3 соответствуют ширине нагревателя 10, 15 и 20 мкм)

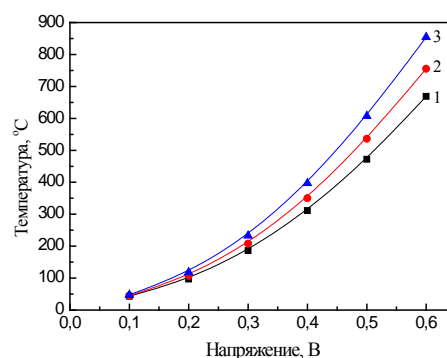


Рисунок 3 – Зависимости максимальной температуры нагрева однослойной мембраны от напряжения при толщине нагревателя 0,4 мкм (1, 2 и 3 соответствуют ширине нагревателя 10, 15 и 20 мкм)

На рисунке 4 показаны результаты моделирования распределения температуры нагрева в однослойной мембране при ее толщине 0,4 мкм

и напряжении на нагревателе в 0,5 В в зависимости от разной ширины шагревателя.

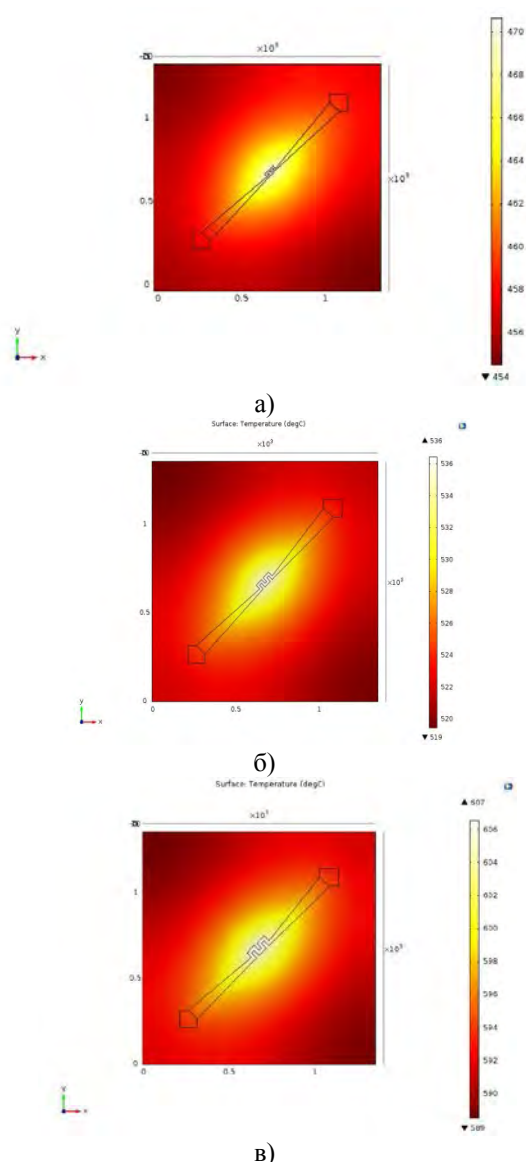


Рисунок 4 – Распределения температуры нагрева в однослойной мембране при ширине нагревателя 10(а), 15(б) и 20(в) мкм

Анализ представленных на рисунках 2-4 результатов моделирования показывает, что оптимизация геометрии платинового нагревателя позволяет получить сенсоры с потребляемой мощностью в диапазоне 20-26 мВт при постоянном нагреве с рабочей температурой 540-560 °С. Мощность, подаваемая на нагреватели, составляет 19,8; 22,7; 25,9 мВт соответственно при их ширине в 10, 15 и 20 мкм и при напряжении питания в 0,5 В.

Не менее важным в нашем моделировании характеристик однослойной мембраны с платиновым нагревателем различной геометрии является оценка напряжений по Мизесу, позволяющие судить о том, что пластичный материал

начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению (рисунок 5).

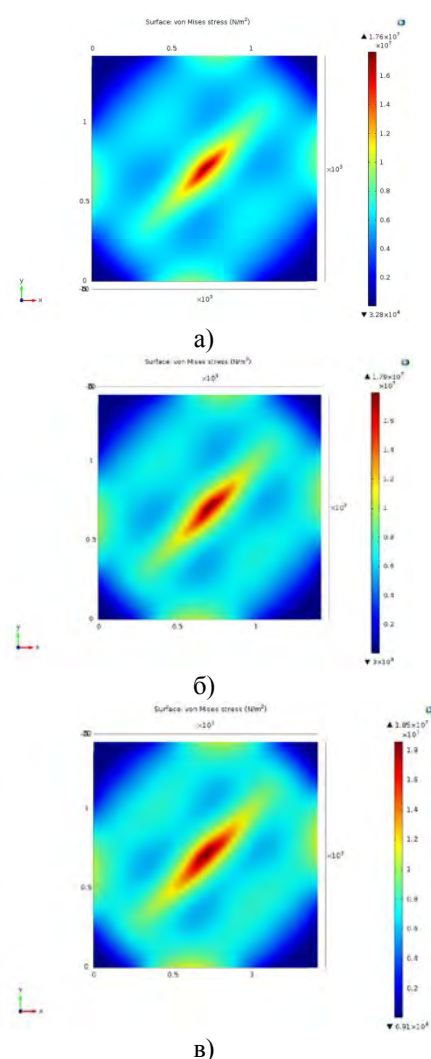


Рисунок 5 – Распределения напряжений Мизеса в однослойной мембране при ширине нагревателя 10(а), 15(б) и 20(в) мкм

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- увеличение ширины дорожки, при одинаковой толщине и поданном напряжении, увеличивает максимальную температуру нагрева газового сенсора;
- температура нагрева сенсора в диапазоне приложенных напряжений от 0,1 до 0,4 В изменяется нелинейно, что, по-видимому, связано с тем, что часть энергии идет на прогрев мембраны;
- разработанная в данной работе модель является полезным инструментом для проектирования полупроводниковых газовых сенсоров различного назначения с энергопотреблением менее 1мВт.