

возрастает за счет снижения высоты шероховатости при переходе от точения к полированию. Исследованиями проф. А.А. Маталина установлено, что остаточные напряжения, упрочнение и шероховатость поверхности изменяют предел выносливости в соотношении $1,5 \times 1,25 \times 1,03$. В соответствии с исследованиями А.М. Сулимы [1] относительная значимость каждого из параметров качества поверхностного слоя в снижении предела выносливости образцов после шлифования составляет: шероховатость поверхности до 50%; упрочнение поверхностного слоя 40-45%; технологические остаточные напряжения до 5-10%. Это позволяет сделать вывод об отсутствии единого мнения относительно степени влияния того или иного параметра на предел выносливости материала детали. Структурные изменения металла при его механической обработке и, в частности прижоги шлифующихся поверхностей, является серьезной причиной снижения долговечности деталей. Обычно в зонах отпущенного металла, имеющего меньший удельный объем, развиваются остаточные растягивающие напряжения, которые снижают усталостную прочность деталей. При этом на границах участков измененной структуры часто образуются трещины, которые являются центром усталостных разрушений деталей. В работе [5] описаны микроструктурные изменения в поверхностных слоях обработанных закаленных сталей, которые авторы называют белыми и темными слоями. Первый, как правило, толщиной в несколько микрон, является результатом микроструктурных изменений, которые приводят к мартенситной структуры (для стали AISI 52100). Белый слой является нежелательным при изготовлении деталей,

поскольку он является твердый и хрупкий. Темный слой имеет большую толщину (20-40 мкм, в зависимости от условий технологического процесса), является мягким и пластичным через присутствие более закаленного мартенсита. Оптимальным является минимальный темный слой с твердостью незначительно ниже, чем в объеме материала.

Таким образом, известны данные о влиянии качества поверхностного слоя, методов и условий обработки на усталостную прочность деталей открывают возможности для создания современных методик технологического обеспечения усталостной прочности, что и разрабатывается в данное время.

1. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
2. P.V. Jadhav, D.S. Mankar-Effect of surface roughness on fatigue life of machined component of Inconel 718 // Bharati Vidyapeeth Deemed University College of Engineering (Pune), International Conference vol. 11, 2010, p. 11.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник / А.А. Маталин. – Спб.: Лань, 2008. – 512 с.
4. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / О.В. Рыжов, А.Г. Сулов, В.П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 179 с.
5. D. Umbrello¹, A. D. Jayal, S. Caruso¹, O. W. Dillon, and I. S. Jawahir Modeling of white and dark layer formation in hard machining of AISI 52100 bearing steel // Machining Science and Technology, vol. 14, 2010, p.128-147.

УДК 51-73

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА С МЕМБРАНОЙ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Белогуров Е.А.¹, Таратын И.А.², Хатько В.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь

Одним из путей повышения чувствительности и селективности химических (газовых) сенсоров является увеличение эффективной поверхности активного слоя, для чего применяют нанопорошки, специальные методы структурирования поверхности активного слоя, а также использование пористых материалов в качестве основы для нанесения чувствительных слоев. Применение напористых структур позволяет получить сенсоры с развитой поверхностью, имеющие большую эффективную площадь, занимаемую активными чувствительными материалами, и, следовательно, повышенную чувствитель-

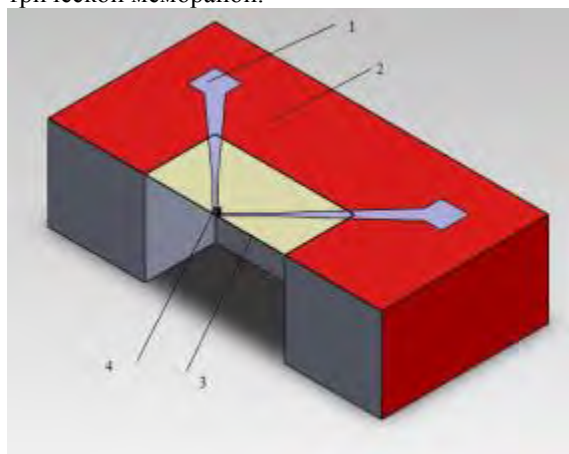
ность сенсоров. Наиболее перспективным для структурирования газочувствительных пленок является нанопористый анодный оксид алюминия (АОА), представляющий собой упорядоченное скопление гексагональных ячеек с цилиндрическими порами в центре их, геометрическими параметрами которых можно управляемо варьировать путем подбора условий их формирования. Оксид имеет в своей основе упорядоченную структуру, которая улучшает целый ряд его механических свойств: упругость, микротвердость, износостойкость и др. Это делает возможным при использовании микросистемных техно-

логий применять нанопористый АОА в двух вариантах.

В первом варианте в виде тонких пленок (мембран) толщиной ~ 1 мкм, используемых в качестве пассивной диэлектрической основы для последующего нанесения на их поверхность полупроводникового чувствительного слоя или заполнения пор газочувствительным материалом. В этом случае для нанесения диэлектрической пленки целесообразно использовать кремниевые пластины и технологию их микромеханической обработки. Другой вариант – применение АОА в виде подложек толщиной от 50 до 100 мкм как основы для создания химических сенсоров по технологии микромеханической обработки алюминооксида.

Использование в первом варианте изготовления газового сенсора технологии формирования мембран из АОА на подложках кремния, модельные и экспериментальные зависимости изменения пористости алюминооксидных мембран от условий их формирования позволит обеспечить в перспективе изготовление полупроводникового газового сенсора с мощностью потребления ≤ 1 мВт. Моделированию некоторых характеристик данного типа сенсора и посвящена данная работа.

На рис. 1 показана трёхмерная модель газового сенсора на кремнии с двухслойной диэлектрической мембраной.



1 – платиновая металлизация и нагреватель, 2 – кремниевая подложка, 3 – двухслойная диэлектрическая мембрана из нитрида кремния и нанопористого анодного оксида алюминия, 4 – чувствительный слой.

Рисунок 1 – Газовый сенсор на кремнии с двухслойной диэлектрической мембраной

Кремниевая подложка представляет собой параллелепипед с размерами 1,35x1,35x0,38 мм. Двухслойная мембрана имеет размеры 400x400x1,7 мкм (толщина нитрида кремния — 0,8 мкм, толщина алюминооксида — 0,9 мкм). Толщина платины — 0,45 мкм..

На рис. 2 представлена сетка конечных элементов, которая использовалась для моделирования.

В ходе моделирования была решена связанная термоэлектрическая задача для определения вольт-амперной характеристики (ВАХ) газового сенсора, его прогрева при различных значениях приложенного напряжения. Для моделирования входное напряжение задавалось от 0 до 2,25 В, коэффициент поверхностного излучения задавался равным $5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, тепловые потери на излучение в атмосферу задавались равными 70%. Температура окружающей среды равна 293 К.

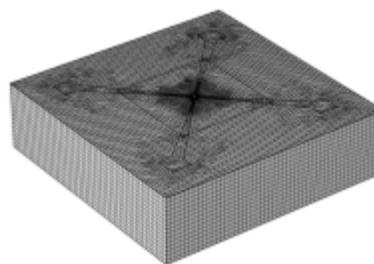


Рисунок 2 – Сетка конечных элементов

На рис. 3 представлены вольт-амперные характеристики сенсора, которые получены в результате моделирования и эксперимента. Видно хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментом.

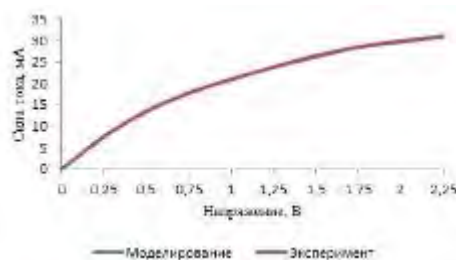


Рисунок 3 – Экспериментальная и полученная в результате моделирования вольт-амперные характеристики сенсора

По результатам моделирования определена зависимость изменения температуры чувствительного слоя газового сенсора с полосковым нагревателем от приложенного напряжения. В качестве чувствительного слоя был выбран слой ИТО толщиной 25 мкм. На рис.4 результаты моделирования показаны для подложки с пористостью 50 %, поскольку потребляемая мощность сенсора в диапазоне пористости подложки 0-50 % изменяется незначительно.

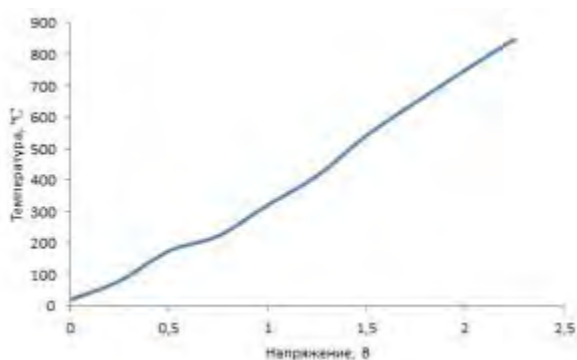


Рисунок 4 – Зависимость температуры чувствительного слоя мембранного сенсора от приложенного напряжения

Совпадение экспериментальной и теоретической ВАХ (рис.3) обусловлено правильным выбором модели материала нагревателя и чувствительного слоя. Также из моделирования видно, что область нагрева локализована только в районе чувствительного слоя, остальная часть сенсора имеет температуру в 2 раза ниже, чем в области чувствительного слоя (рис. 5).

С помощью моделирования методом конечных элементов был исследован нагрев сенсора при разных значениях приложенного напряжения. Согласно результатам моделирования питающее напряжение в диапазоне от 1 до 1,5 В является оптимальным, потому что обеспечивает требуемый нагрев чувствительного элемента. В ходе дальнейших исследований планируется выяснить влияние пористости подложки на прогрев чувствительного элемента, зависимость потребляемой мощности сенсора от пористости, а также определить термомеханические деформации и напряжения в мембране сенсора, которые возникают вследствие его нагрева.

УДК 621.317.39

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Беячиц А. Ч.¹, Титовицкий И. А.¹, Сердюк В. М.¹

¹Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

В процессе производства бумажных материалов большое внимание уделяется контролю их влажности и плотности на всех технологических этапах. Эти две характеристики решающим образом влияют на качество производимой продукции, поэтому проблема повышения качества для целлюлозно-бумажной промышленности в значительной степени сводится к внедрению эффективных систем контроля влажности и плотности бумаги. Основой таких систем служат датчики измерения данных параметров производимого материала, которые должны обладать высокой точностью измерений, стабильностью работы при разных температурах, а также возмож-

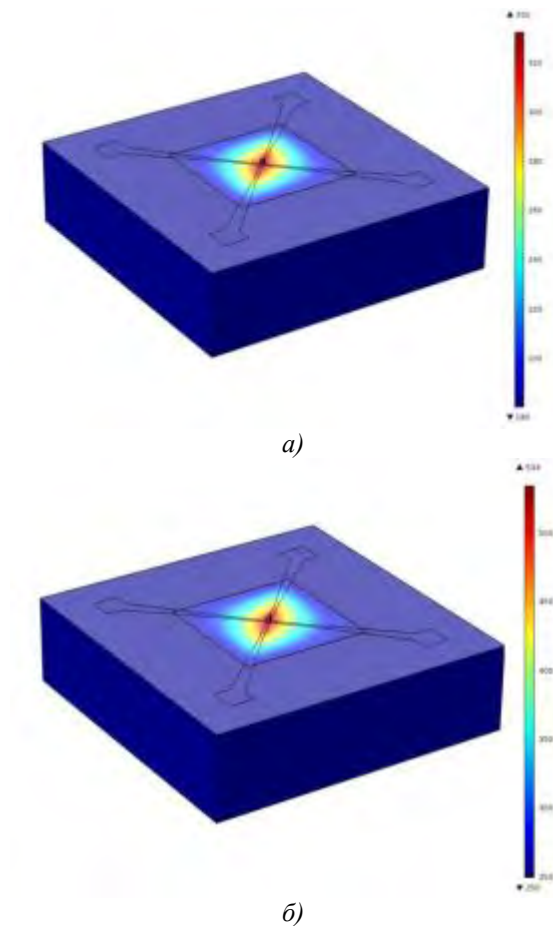


Рисунок 5 – Область нагрева сенсора при питающем напряжении 1 В (а) и 1,5 В (б)

ностью работы в непрерывном режиме постоянного движения тестируемого бумажного полотна. В наибольшей степени подобным требованиям удовлетворяют электродинамические датчики влажности и плотности. Они используют явление изменения параметров электромагнитного поля при внесении в него диэлектрического материала. Это изменение может проявляться в виде изменения коэффициента прохождения среды, либо в виде изменения частоты электромагнитных колебаний, если в качестве измерительного прибора выступает резонатор. В настоящей работе излагаются основные проблемы, связанные с разработкой и применением