

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ КЕРМЕТНЫХ РЕЗИСТОРОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ

К. И. Домкин, В. Г. Недорезов

Научно-технический прогресс неизменно связан с разработкой современных материалов с заданными свойствами. Важнейшим направлением в данной области является электронное материаловедение. В настоящее время наряду с работами по созданию новых материалов для активных элементов на основе полупроводников развиваются и направления, связанные с созданием материалов для пассивной электронной компонентной базы. К изделиям пассивной электроники относятся и резисторы.

Технология получения керметных толсто пленочных резистивных материалов [1] включает приготовление резистивной композиции в виде пасты, получение отпечатка резистивной пасты требуемой конфигурации на диэлектрическом основании, вжигание резистивного слоя, подгонку к заданному значению сопротивления и контроль параметров. Эта технология отличается достаточной простотой по сравнению с технологией получения резистивных элементов методом испарения или технологией изготовления проволочных и фольговых резисторов. Несмотря на кажущуюся простоту технологии, на электрические и эксплуатационные свойства изделий из керметных композиций оказывают существенное влияние факторы, которые можно условно разделить на две основные группы:

- собственно резистивная композиция (ее состав, метод подготовки, дисперсность составляющих частей и т.д.);
- технологические режимы трафаретной печати и термообработки резистивного слоя.

Одной из главных проблем толсто пленочного резисторного материаловедения является поиск составов паст и режимов их обжига, позволяющих получить резистивные материалы с широким и плавно регулируемым диапазоном номинальных сопротивлений при малом абсолютном значении ТКС и удовлетворительной временной стабильности сопротивления.

Процесс разработки керметных резисторов является энерго- и материалоемким процессом, требующим проработки различных технологий, конструкций и материалов. Оптимизация данного процесса представляется возможной с использованием моделирования на каждом этапе разработки.

Первой операцией процесса производства является измельчение исходных материалов [2]. Основной характеристикой измельченного материала является его гранулометрический состав [3] (рис. 1). Процесс измельчения происходит до тех пор, пока не будет достигнута заданная функция гранулометрического распределения. На основе экспериментальных данных была получена функция разрушения, зависящая только от относительной массы частиц m/m' в виде гауссиана с максимумом в $m/m' = 0,5$:

$$f(m, m') = \frac{A}{m'} \exp \left(- \frac{\left(\frac{m}{m'} - 0,5 \right)^2}{2\sigma^2} \right).$$

В процессе разработки резистивных композиций экспериментально определено характерное время разрушения в планетарно-центробежной мельнице – 1–3 с. Существенен тот факт, что оно, как оказалось, зависит от материала, поэтому эффективность ударов в мельнице различна. Определен вид функции разрушения для модельных веществ. Она оказалась довольно узкой и центрированной на $m/m' \sim 0,5$. Множественность образования осколков рассмотрена с точки зрения теории хрупкого разрушения. Найдено, что существует критический размер, ниже которого частицы раскалываются пополам.

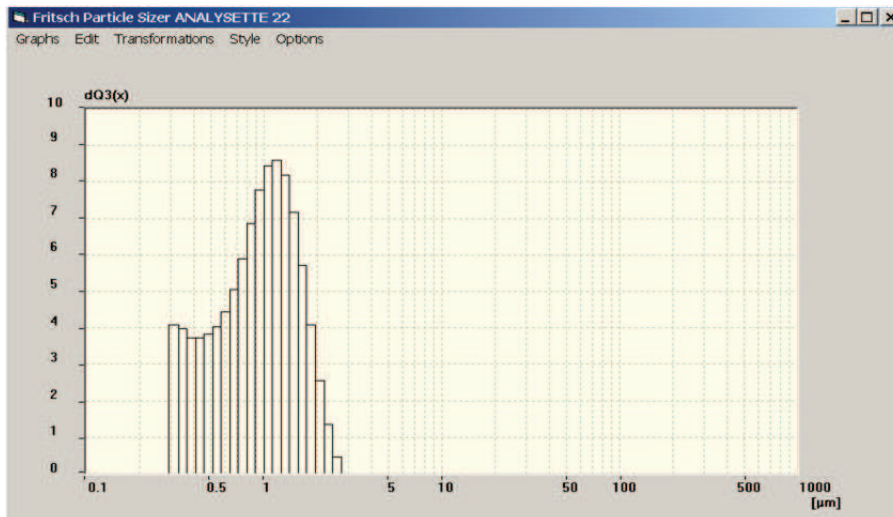


Рис. 1. Гранулометрический состав порошков стеклофазы ЗС-71 после 8-часового измельчения

Следующей технологической операцией является формирование (рис. 2) и спекание (рис. 3) резистивной композиции.

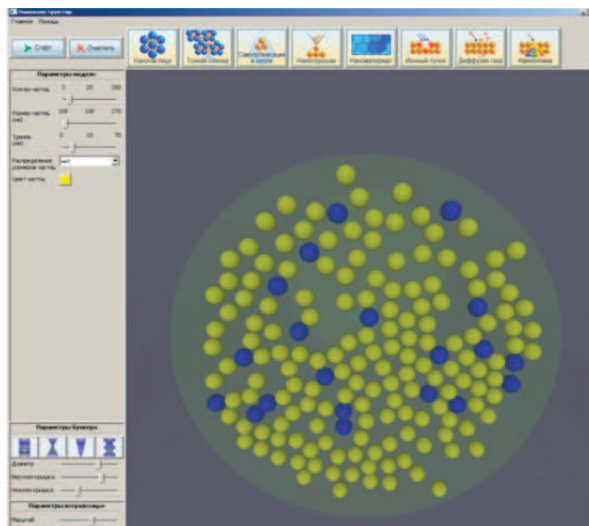


Рис. 2. Моделирование многокомпонентной резистивной композиции

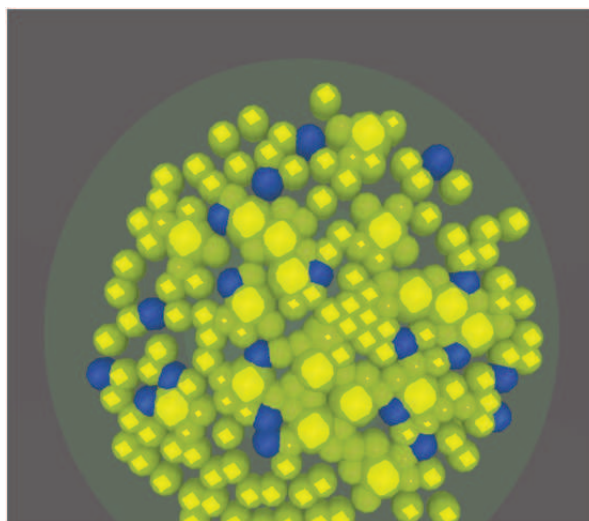


Рис. 3. Моделирование процесса спекания резистивной композиции

Следующая стадия – разработка конструкции с последующей трафаретной печатью и формированием контактов. Далее следует прогнозирование поведения системы при воздействии различных факторов.

На рис. 4 представлены результаты разработки резистора для поверхностного монтажа с использованием моделирования. Нетрудно заметить, что подбор и проверку теплофизических свойств материала подложки можно проводить на этапе проектирования.

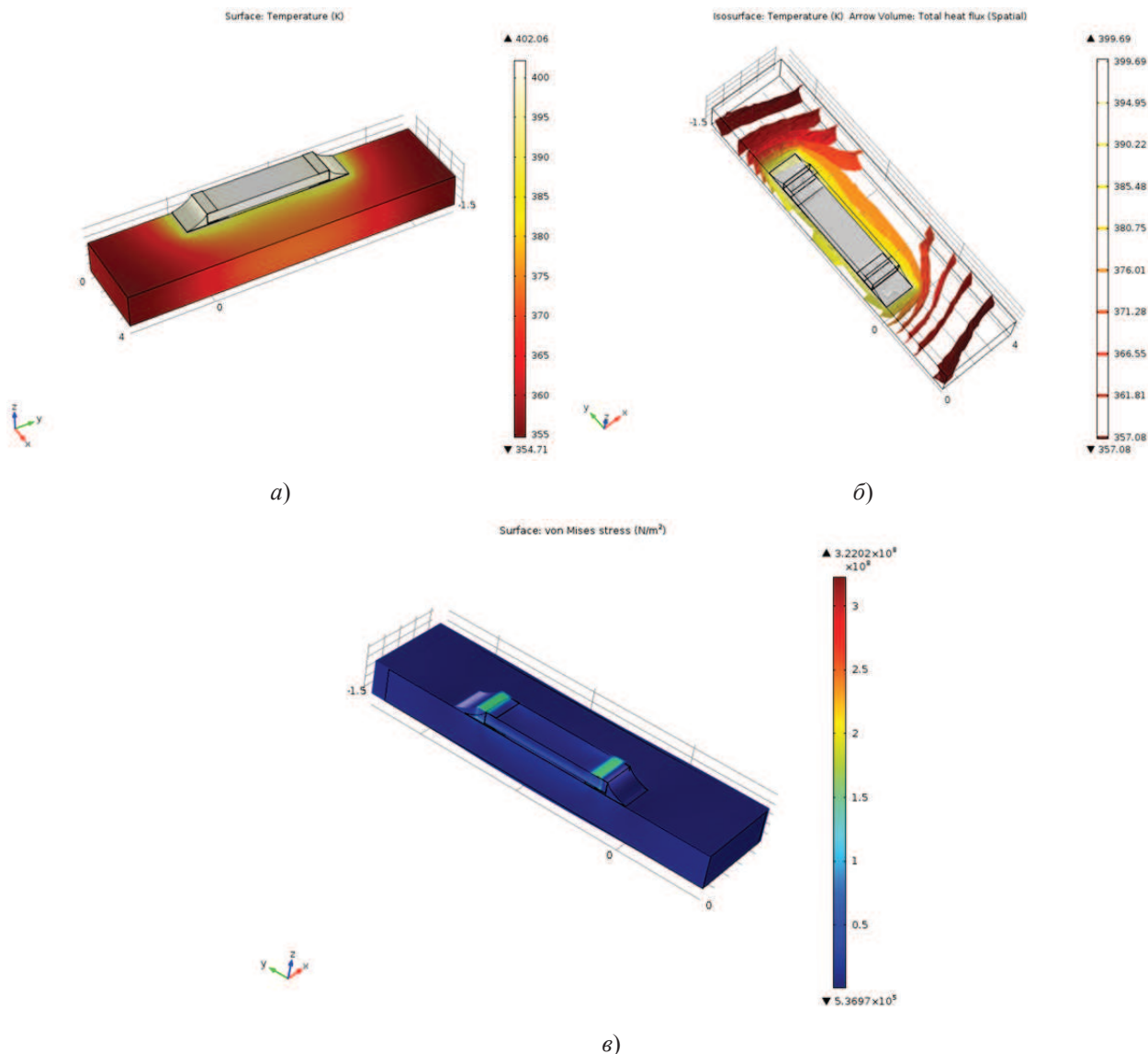


Рис. 4. Моделирование резистора для поверхностного монтажа:
 а – распределение температуры по поверхности подложки, б – эквипотенциальные поверхности внутри подложки, в – механические напряжения в системе резистор-контакт-подложка

На рис. 5 приведены основные этапы отработки конструкций резистивных элементов. Первоначально выбираются материалы резистора, контактов и подложки и моделируется их геометрия (рис. 5,а). Далее строится модель распределения потенциала в системе (рис. 5,б), в которой задаются максимальные значения напряжения на резисторе. Следующим этапом строится модель распределения температуры по поверхности (рис. 5,в). Затем анализируются возможные механические напряжения, которые могут возникнуть в процессе работы изделия (рис. 5,г). Окончательным этапом является моделирование рассеяния мощности на разрабатываемом резисторе.

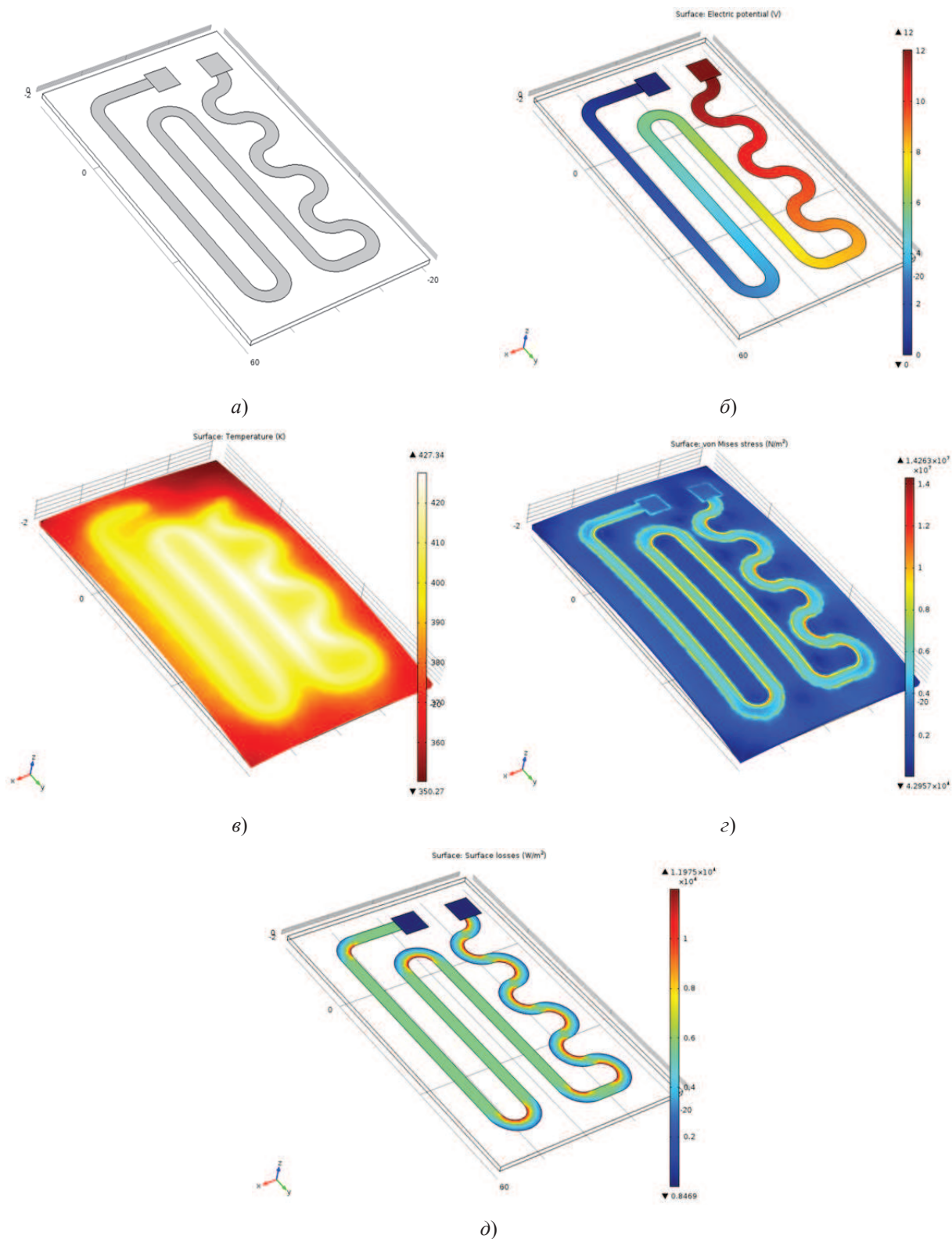


Рис. 5. Этапы разработки резистора: *а* – конструкция; *б* – распределение потенциала; *в* – распределение температуры; *г* – механические напряжения; *д* – рассеяние мощности

При обнаружении несоответствия параметров с запланированными разработчик может повторить как весь цикл моделирования, так и его отдельные этапы [4].

Таким образом, используя современные методы и средства моделирования, можно не только ускорить, но и удешевить процесс разработки новых керметных резисторов и сборок на их ос-

нове. Также эти средства и методы позволят существенно разнести в пространстве процессы разработки и процессы создания опытных образцов.

Список литературы

1. Недорезов, В. Г. Технология керметных резистивных структур и компонентов на их основе : моногр. / В. Г. Недорезов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2005. – 220 с.
2. Домкин, К. И. Моделирование процесса сухого измельчения порошковых материалов / К. И. Домкин, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 131–138.
3. Каминская, Т. П. Современные методы анализа гранулометрического состава порошков / Т. П. Каминская, К. И. Домкин // Перспективные материалы. – 2008. – Специальный выпуск № 6, ч. 1. – С. 237–240.
4. Домкин, К. И. Фотонные кристаллы и устройства // Надежность и качество – 2012 : тр. междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 252–255.

УДК 621.316.8

Домкин, К. И.

Оптимизация разработки керметных резисторов с помощью моделирования / К. И. Домкин, В. Г. Недорезов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 64–68.

Домкин Кирилл Иванович

инженер, ОАО НИИЭМП
440600, г. Пенза, ул. Каракозова, 44.
+7 (8412) 47-71-01
E-mail: ego85@mail.ru

Недорезов Валерий Григорьевич

доктор технических наук, профессор,
генеральный директор,
ОАО НИИЭМП
440600, Пенза, ул. Каракозова, 44.
(8412) 47-71-01
E-mail: nedval@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрено моделирование основных этапов разработки керметных резисторов. Показано, что моделирование позволяет существенно снизить затраты разработчиков.

Ключевые слова: резистор, кермет, моделирование.

K. Domkin

the engineer joint stock company NIIEMP
440600, Penza, Karakosova street, 44.
+7 (8412) 47-71-01
E-mail: ego85@mail.ru

V. Nedorezov

Doctor of Technical Science, professor,
General Director joint stock company NIIEMP
440600, Penza, Karakosova street, 44.
(8412) 47-71-01
E-mail: nedval@yandex.ru

Abstract. Modeling of the main development stages of kermetny resistors is considered. It is shown that modeling allows to lower expenses of developers significantly.

Key words: resistor, kermet, modeling.