

К. т. н. А. Н. ЛУГИН, М. М. ОЗЕМША

Россия, г. Пенза, ФГУП «НИИ ЭМП»
E-mail: niiemp025@yandex.ru

Дата поступления в редакцию
19.04 2010 г.

Оппонент д. т. н. В. Г. СПИРИН
(Арзамасский политехнический институт)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Предложена конструкция контакта, позволяющая снизить пиковые значения тока и мощности рассеяния и тем самым повысить устойчивость резистора к параметрическим и катастрофическим отказам.

Повышение надежности тонкопленочного контакта уже более сорока лет остается актуальной задачей при проектировании тонкопленочных резисторов и схем на их основе [1—5]. При этом основное внимание уделяется двум задачам — снижению плотности тока и снижению мощности рассеяния в слоях контакта.

Увеличение плотности тока и мощности рассеяния из-за Джоулева тепла приводит к электромиграции и электродиффузии и впоследствии к катастрофическому отказу («перегоранию» резистора). С улучшением электрических характеристик резисторов и, прежде всего, со снижением допускаемого отклонения сопротивления и значения ТКС указанные факторы начали выступать также в роли дестабилизирующих.

Тенденция к все большей миниатюризации аппаратуры нашла свое отражение в требованиях к снижению габаритов изделий, выполненных, в частности,

по тонкопленочной технологии, а следовательно, и к уменьшению размеров их контактов, что приводит к увеличению плотности тока и мощности рассеяния в контакте. Поэтому изучение процессов, характеризующих рабочее состояние контакта, анализ его конструкции и выработка способов оптимального проектирования стали еще более актуальными.

Как показано в [6, 7], при совершенствовании контакта тонкопленочного резистора имеет смысл рассматривать те участки контакта, в которых удельная мощность рассеяния и плотность тока превышают удельную мощность рассеяния и плотность тока резистора. К таким участкам относится наноразмерная зона резистивного слоя на границе «контакт — резистивный элемент», в которой, как видно из **рис. 1**, указанные параметры многократно превышают расчетные значения [7]. (Здесь и далее на рисунках расчетные значения соответствующих величин в резистивном элементе отмечены кружком).

Наиболее эффективным способом снижения мощности рассеяния считается применение так называемых «гантельных» резисторов, когда приграничная к контакту часть резистивного элемента имеет расширение в зоне контакта [8—10]. Это, однако, приводит к увеличению габаритов резистора.

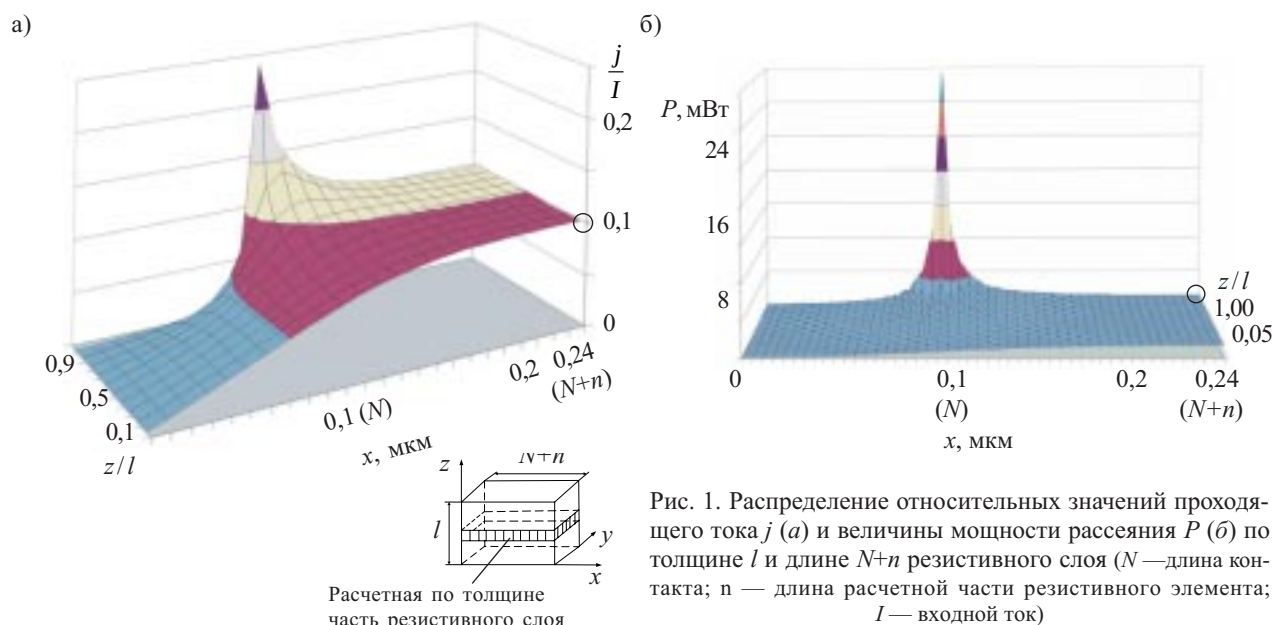


Рис. 1. Распределение относительных значений проходящего тока j (а) и величины мощности рассеяния P (б) по толщине l и длине $N+n$ резистивного слоя (N — длина контакта; n — длина расчетной части резистивного элемента; I — входной ток)

Авторы [4] предлагают увеличивать толщину резистивного слоя под металлизацией контакта. Однако расчет по изложенной в [6] методике показывает, что из-за такого утолщения появляется дополнительный участок прохождения тока, что приводит к увеличению мощности рассеяния. В [3] применено четырехвыводное включение резистора, но в этом случае исключается только параметрический отказ, а причины возможного «перегорания» резистора не устраняются. В [11] предлагается введение барьерного слоя между металлизацией и резистивным слоем, однако это не устраняет причины возникновения ни катастрофического отказа резистора из-за перегорания, ни параметрического отказа из-за воздействия повышенной температуры от Джоулева тепла.

В [6] показано, что снизить плотность тока и мощность рассеяния в приграничной зоне без увеличения габаритных размеров контакта можно, снизив удельное сопротивление материала резистивного слоя. Но этот прием имеет два недостатка: во-первых, увеличивается длина резистивной линии и, соответственно, габариты резистора; во-вторых, не всегда имеются резистивные материалы с заданным удельным сопротивлением и требуемыми электрическими характеристиками по временной и температурной стабильности.

Для поиска приемлемого решения в настоящей работе были проведены исследования при условии, что имеется резистивный материал, характеризующийся определенными высокими электрическими характеристиками в некотором диапазоне удельных поверхностных сопротивлений.

На основе методики [6] были получены значения мощности рассеяния в резистивном слое контакта в зависимости от толщины резистивной пленки. Было установлено, что с увеличением толщины резистив-

ного слоя при одном и том же объемном удельном сопротивлении (т. е., по сути, с уменьшением удельного поверхностного сопротивления ρ) уменьшается как суммарная по толщине мощность рассеяния, так и мощность рассеяния в верхнем слое пленки. Как видно из **рис. 2**, это уменьшение происходит по гиперболическому закону, т. е. основное снижение мощности происходит при увеличении толщины пленки до некоторого значения, после которого она практически не изменяется. Этот факт позволил предложить конструкцию и технологию контакта тонкопленочного резистора, в котором без увеличения габаритных размеров достигается снижение мощности рассеяния в приграничной зоне «контакт — резистивный элемент».

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции является образование ступеньки — увеличение толщины резистивного слоя под контактом и в приграничной к контакту зоне резистивного элемента на длине не менее тройной толщины резистивного слоя, как это показано на **рис. 3** (конструкции контакта представлены с учетом допущения, что слои не имеют клина травления, поскольку это упрощает расчет, а формирование таких конструкций возможно — оно обеспечивается прогрессивными методами «сухого травления»). Снижение уровня рассеиваемой мощности, а также пикового тока при применении контакта такой конструкции подтверждается результатами расчета, представленными на **рис. 4, 5**.

Для реализации предложенной конструкции контакта тонкопленочного резистора можно использовать «сухое», например ионное, травление резистивного слоя на заданную глубину. При этом становится возможным применение одного и того же материала для всего резистивного слоя — как под металлизацией в зоне контакта резистивного элемента, так и в резистивном элементе в целом [12].

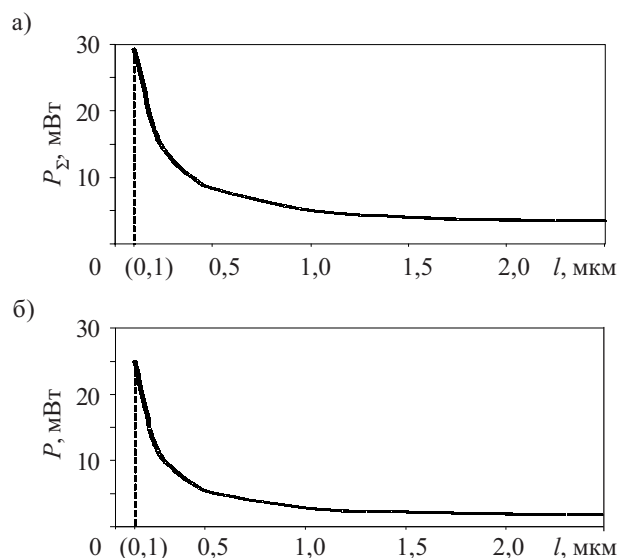


Рис. 2. Зависимость суммарной по толщине мощности рассеяния P_{Σ} (а) и мощности рассеяния в верхнем слое резистивной пленки P (б) от толщины резистивного слоя (расчеты проводились для одинаковой толщины верхнего слоя, которая принималась равной $0,1l_{\min}$, т. е. 0,01 мкм)

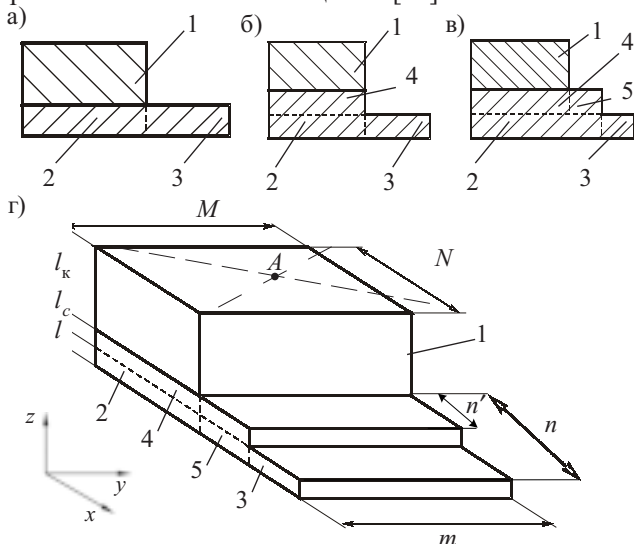


Рис. 3. Сечение контакта тонкопленочного резистора, нашедшего наибольшее применение (а), представленного в [4] (б) и предлагаемого в настоящей работе (в),

а также объемное изображение последнего (г):

1 — металлизация; 2, 4, 5 — резистивный слой (резистивная пленка); 3 — основная часть резистора (резистивный элемент); A — точка присоединения соединительного проводника и входа тока I в контакт

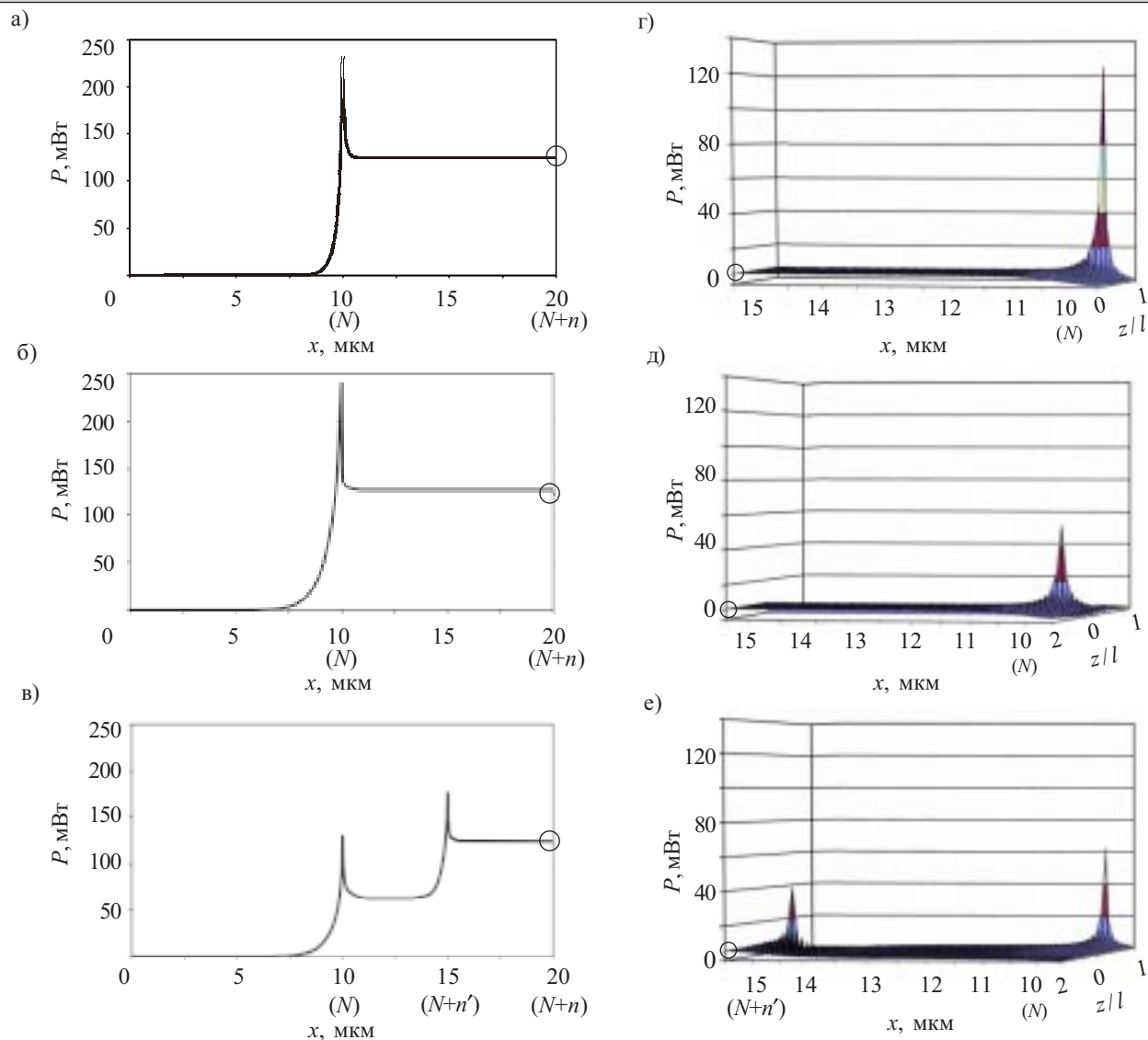


Рис. 4. Распределение суммарной мощности рассеяния P_{Σ} в резистивном слое по его длине (а, б, в) и мощности P по его толщине и длине (г, д, е) для конструкции на рис. 5, а, б, в, соответственно, при $I = 1$ мА, и исходных данных, приведенных в таблице

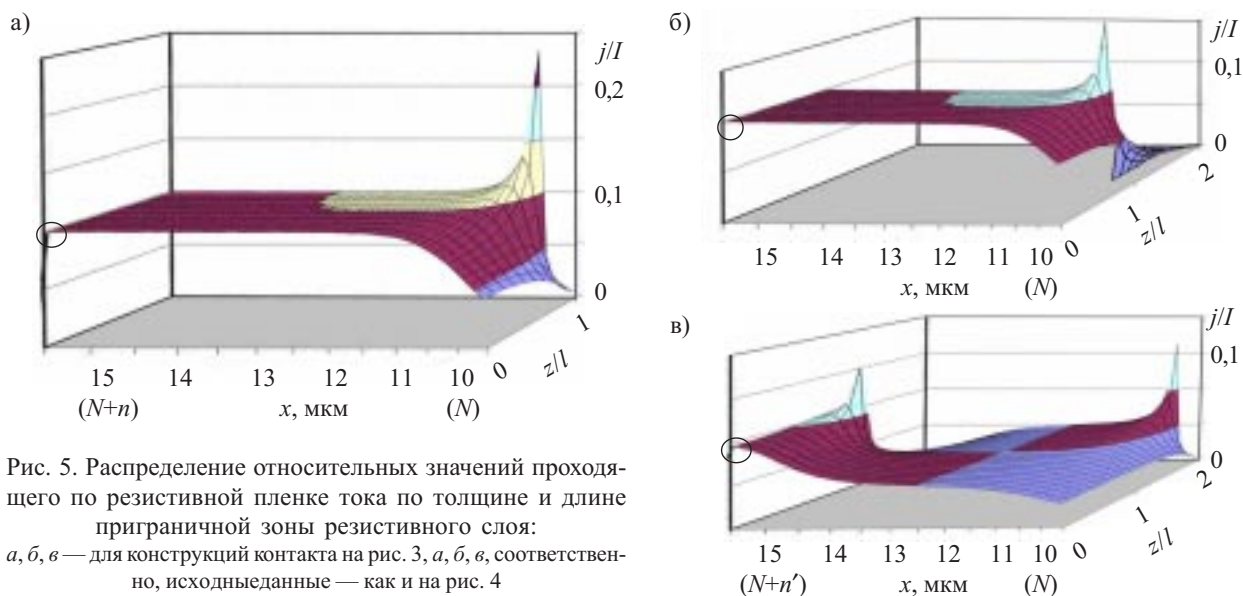


Рис. 5. Распределение относительных значений проходящего по резистивной пленке тока по толщине и длине приграничной зоны резистивного слоя: а, б, в — для конструкций контакта на рис. 3, а, б, в, соответственно, исходные данные — как и на рис. 4

№ слоя (см. рис. 5)	$\frac{x_i}{l} p$	$\frac{y_i}{l} p$	$\frac{l_i}{l} p$	$\frac{\rho_i}{\rho_k}$
1	200	2	20	1
2	200	2	20	10000
3	100	2	20	10000
4	200	2	20	10000
5	100	2	20	10000

Необходимо отметить, что применение предложенной конструкции контакта тонкопленочных резисторов влечет за собой усложнение технологического процесса изготовления и увеличение затрат на производство. Однако такая конструкция позволяет решать задачи дальнейшего совершенствования параметров тонкопленочных резисторов.

Таким образом, утолщение резистивного слоя под металлизацией контакта и в приграничной к контакту зоне резистивного элемента позволяет снизить пиковые значения тока и мощности рассеяния и тем самым повысить устойчивость резистора к параметрическим и катастрофическим отказам.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кайнов С. В., Алексеева Э. А. Исследование условий получения надежного пленочного контакта // Электронная техника. Сер. 9. Радиокомпоненты. — 1967. — Вып. 5. — С. 120—124.

2. Кресин О. М., Харинский А. Л. Математический анализ тонкопленочного контакта // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Детали и компоненты аппаратуры. — 1964. — Вып. 5. — С. 15—21.

3. Пат. Польши 155937. Пленочный резистор / Изобретения стран мира. — 1992. — № 3. — С. 4.

4. А. с. 809411. Тонкопленочный резистор / Белеков А. С., Головин В. И., Смирнов А. Б., Юсипов Н. Ю. — 1981. — Бюл. № 8.

5. Гильмутдинов А. Х., Ермалаев Ю. П. Модели оценки сопротивления пленочных контактов и резисторов с распределенными параметрами. — Казань: ЗАО «Новое знание», 2005.

6. Лугин А. Н., Оземша М. М. Электрическое сопротивление контакта тонкопленочных резисторов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2006. — №6. — С. 15—20.

7. Лугин А. Н. Наноразмерные эффекты пространственной неоднородности распределения тока и мощности рассеяния в тонкопленочном контакте // Нано- и микросистемная техника. — 2009. — №1. — С. 2, 13—15.

8. Ермолаев Ю. П., Пономарев М. Д., Крюков Ю. Г. Конструкции и технология микросхем (ГИС БГИС) // Советское радио. — 1980. — С. 254.

9. Спирин В. Г. Выбор конструкций тонкопленочных резисторов для микросборок высокой интеграции // Электронная промышленность. — № 1. — 2005. — С. 55—59.

10. Пат. США 3629782. Тонкопленочный резистор / 1971.

11. Пат. США 3649945 Тонкопленочный резистор / 14.03.1972.

12. Пат. РФ 2330343. Тонкопленочный резистор / Лугин А. Н., Оземша М. М., Власов Г. С. — 2008. — Бюл. №21.

в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Высокочувствительная установка для оценки показателя преломления водных растворов (Украина, г. Черновцы)
- Автотрассовый газоанализатор (Украина, г. Киев)
- Некоторые особенности ограничителя тока на полевом транзисторе (Узбекистан, г. Ташкент)
- Анизотропный термоэлемент в режиме генерации ЭДС и тока (Украина, г. Черновцы)
- Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами (Украина, г. Запорожье)
- Система охлаждения испарительно-конденсационного типа для рентгеновских трубок (Украина, г. Киев)
- Слоистые структуры Co/Ir и 3D-наноконкомпозиты на основе соединений Co/Ir и Co (Россия, г. Москва)
- Теплотехнические характеристики радиатора для систем охлаждения радиоэлектронной техники (Украина, г. Киев)
- Моделирование электротокковых микрореле (Беларусь, г. Минск)
- Температурная зависимость рабочих характеристик пьезоэлектрических сенсоров на основе поливинилиденфторида (Украина, г. Одесса)

в портфеле редакции



10—13 мая 2011 года
САМАЯ КРУПНАЯ В РОССИИ
И СТРАНАХ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ
ВЫСТАВКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ,
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ,
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И УСЛУГ СВЯЗИ
«Связь-Экспокомм-2011»
www.sviaz-expocomm.ru

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

