

0-10

63-69

2789

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПОДГОНКИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА РС-3710

З. Ю. Готра, Б. А. Голдованский, А. П. Кузькин,
О. Н. Селютин, Б. В. Цылин

Одной из основных проблем при создании прецизионных аналоговых микросхем в гибриднопленочном исполнении является обеспечение точных и стабильных тонкопленочных резисторов (ТПР). Существующие в тонкопленочной технологии методы получения конфигурации резисторов (масочный и фотолитография) позволяют изготавливать резистивные элементы с отклонением от номинального значения не лучше 10%. При этом применяемые материалы для напыления резисторов, например металлосилицидные сплавы, обеспечивают временную стабильность ТПР не лучше 1% за 1000 часов и температурный коэффициент сопротивления (ТКС) не менее $1 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$.

Для повышения точности изготовления ТПР используются различные методы подгонки, в основе которых лежит изменение геометрических размеров резисторов или их электрофизических свойств, влияющих на временную и температурную стабильность ТПР.

Среди существующих методов подгонки наиболее прогрессивным является лазерный метод, однако влияние его на параметры ТПР еще недостаточно изучено.

Авторами исследовалось влияние лазерной подгонки тонкопленочных резисторов на временную и температурную стабильность. В процессе исследований значения сопротивлений ТПР можно было как увеличивать (путем удаления части резистивного слоя сфокусированным лучом лазера), так и уменьшать (путем их локального нагрева лазерным лучом малой мощности).

Подгонка проводилась на специально разработанной установке с помощью газового импульсного ультрафиолетового лазера ЛГИ-21, обеспечивающего мощность излучения 1,6 кВт

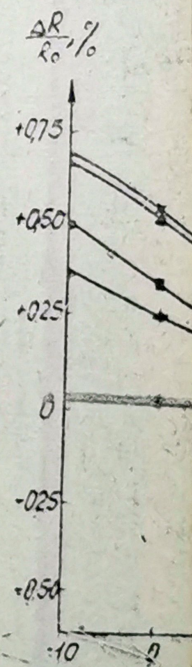
при длительности импульсов 10 нс, частоте повторения до 100 Гц и длине волны излучения 3371 Å.

Режим удаления части резистивного слоя выбирался из условий получения чистого реза при минимальном нагреве периферийной зоны материала резистора, прилегающего к границе реза. Частота следования импульсов лазера при постоянной скорости движения координатного стола 0,2 мм/с обеспечивала трехкратное перекрытие участков воздействия одиночных импульсов при диаметре сфокусированного излучения лазера 30÷40 мкм. Подгонка ТПР велась Г-образным резом. Режим локального нагрева достигается расфокусировкой луча лазера в пятно диаметром до 300 мкм.

Исследуемые ТПР с удельным поверхностным сопротивлением 1 ком/□ изготавливались из сплава РС-3710 (38,3% хрома, 9,35% никеля, остальное кремний) методом "взрывного" испарения на ситаловые подложки Ст-50-1, нагретые до $350 \pm 20^\circ\text{C}$ в вакууме $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., в установке УВН-2М-2. После одночасового отжига при температуре 400°C производилось напыление проводящих слоев системы ванадий-медь-никель при температуре $200 \pm 20^\circ\text{C}$ без разгерметизации рабочего объема камеры. Вакуумный отжиг привел к образованию кристаллических силицидных фаз (Cr, Si₂; Cr Si; Ni Si₂). При этом структура резисторов получалась мелкодисперсной, частицы силицидной фазы, обладающие металлической проводимостью, были окружены аморфным или квазиаморфным полем частично или полностью окисленного кремния. Термодинамическая устойчивость и химическая инертность силицидных фаз способствовали стабильности ТПР. Поскольку ТКС резисторов в первом приближении представляет алгебраическую сумму составляющих ТКС металлической и диэлектрической фаз, соотношение их и определяет значение ТКС резисторов. Конфигурация резисторов получалась методом фотолитографии. Резисторы шириной 300 мкм с номинальными значениями в диапазоне от 1 до 20 ком располагались на тест-плате размером 20×16 мм. Тонкопленочные резисторы, изготовленные в одном технологическом цикле, разделялись на три группы: одна группа не подвергалась подгонке, вторая подгонялась в сторону уменьшения, третья подгонялась в сторону увеличения номинального значения номинального значения ТПР.

Испытания на временную стабильность подогнанных и неподогнанных резисторов проводились ускоренно в течение 100 часов при температуре 60°C и нагрузке 2 Вт/см². Изменение сопротивления в процессе подгонки контролировалось с помощью процентного моста Щ-30-1 класса 0,05,

При лазерной подгонке резистивного слоя наблюдается явление, что указывает на термический дрейф материала, лежащего в основе резистора (рис. 1, кривая 5). При попытке интенсифицировать процесс подгонки резисторов, сопровождающийся изменением проводимости, и температурными процессами, зависящими от температуры, уменьшилось удельное сопротивление, а смещение ТКС тонкопленочных резисторов достигло значительных значений (с неподогнанным резистором).



Временная стабильность резисторов с временной стабильностью не достигалась в сторону уменьшения, имели место у резисторов.

Наблюдалась линейная зависимость изменения номинала резистора в сторону уменьшения от времени, что свидетельствует о стабильности величины изменения сопротивления. Такие локальные механические процессы, происходящие от действия

При лазерной подгонке ТПР путем удаления части резистивного слоя наблюдалось незначительное уменьшение ТКС, что указывает на температурный нагрев резистивного материала, лежащего в периферийной зоне возле границы резистивного слоя (рис. 1, кривая 5). Подгонка локальным нагревом позволила интенсифицировать процессы упорядочения структуры резистивного материала, сопровождаемые укрупнением фаз с металлической проводимостью, и в то же время подавить окислительные процессы, зависящие от температуры и времени. В результате уменьшилось удельное сопротивление пленки и произошло смещение ТКС тонкопленочных резисторов в сторону положительных значений (см. рис. 1, кривые 2, 3, 4 по отношению к неподогнанным резисторам (кривая 1)).

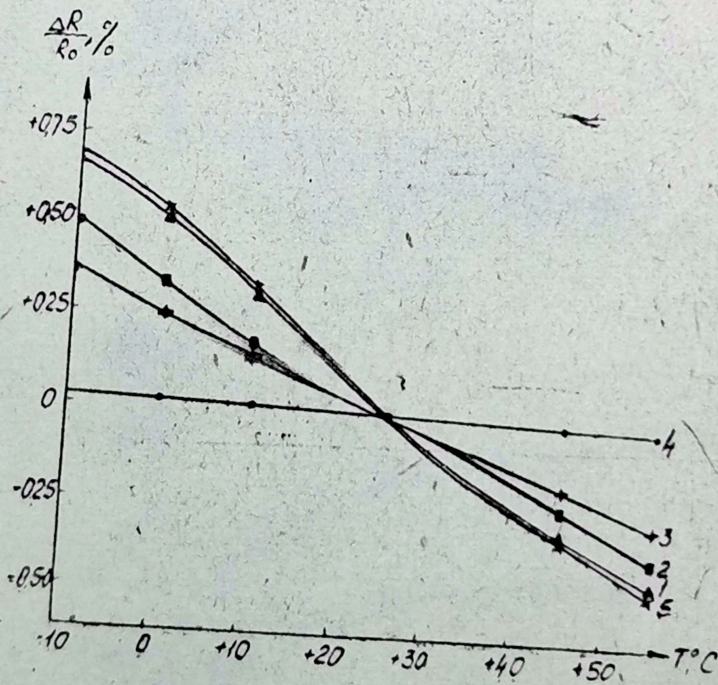


Рис. 1

Временная стабильность подогнанных ТПР по сравнению с временной стабильностью неподогнанных резисторов изменялась в сторону ухудшения, причем наибольшие изменения имели место у резисторов, подогнанных локальным нагревом.

Наблюдалась линейная зависимость между относительным изменением номинала сопротивления и степенью его подгонки в сторону уменьшения (рис. 2). Причиной повышенной нестабильности величины сопротивления ТПР могут быть высокие локальные механические напряжения микротрещины, возникающие от действия импульсного лазерного излучения.

Наличие последних способствует интенсификации окислительных процессов в пленке.

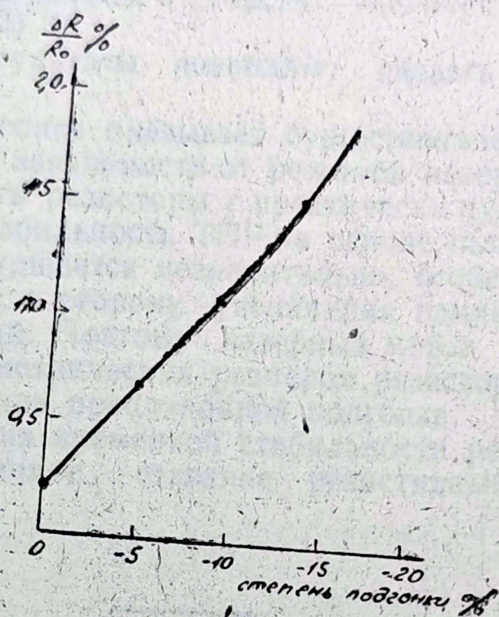


Рис. 2

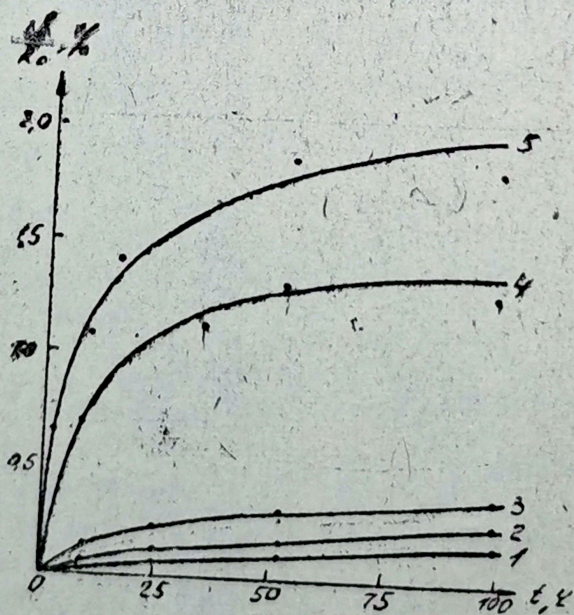


Рис. 3

Исследования временной стабильности резисторов после подгонки также показали, что наиболее существенные изменения сопротивления происходят в первые 25 часов ускоренных испытаний (рис. 3). Максимальные изменения сопротивле-

ния за период ускоренных резисторов 0,35% (кривые 2, 3). Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Лазерная подгонка ТКС резисторов. В дальнейшем можно получить резисторы, подогнанные в сторону отрицательного ТКС с точностью 0,35% (кривые 2, 3).
2. Временная подгонка резисторов, подогнанных в сторону отрицательного ТКС, предпочтительным методом является метод лазерной подгонки.
3. Для улучшения временной стабильности резисторов после подгонки.

исл-
ния за период ускоренных испытаний составили у контрольных резисторов 0,15 % (рис. 3, кривая 1), у резисторов, подогнанных в сторону уменьшения номиналов, 2 % (кривые 4, 5), у резисторов, подогнанных в сторону увеличения номинала, 0,35 % (кривые 2, 3).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Лазерная подгонка оказывает существенное влияние на ТКС резисторов. В зависимости от режимов лазерного излучения можно получить резисторы с практически нулевыми ТКС.

2. Временная стабильность ТПР на основе сплава РС-3710 после подгонки ухудшается незначительно, особенно у резисторов, подогнанных в сторону увеличения номинальных значений сопротивлений. Поэтому лазерный метод подгонки за счет изменения геометрических размеров резисторов является предпочтительным при прецизионной подгонке.

3. Для улучшения временной стабильности рекомендуется 25-часовое естественное старение резистивных элементов после подгонки.