

Моделирование процесса подгонки толстоплёночных резисторов методом факельного разряда

М.Н. Пиганов¹, Д.Н. Новомейский¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Приведена процедура математического моделирования процесса подгонки толстоплёночных резисторов гибридных интегральных микросхем методом факельного разряда. Описано устройство, обеспечивающее подгонку резисторов с заданной точностью. Получено математическое выражение, которое связывает все физические и геометрические параметры системы «разряд-резистор-подложка» и технологический параметр. Разработаны рекомендации по повышению стабильности резисторов после подгонки.

1. Введение

В настоящее время для изготовления микросборок с нерегулярной структурой широкое применение находят толстоплёночные резисторы, в том числе и прецизионные. Существующие методы изготовления толстоплёночных резисторов не обеспечивают требуемой точности номинальных значений сопротивления. Для обеспечения ее используют подгонку сопротивления. Наиболее распространена лазерная подгонка сопротивления толстоплёночных резисторов путем удаления части резистивного слоя. Однако в этом случае не всегда удается достичь необходимой стабильности резисторов. Кроме того, лазерная подгонка дорога по сравнению с дешевой технологией изготовления толстоплёночных резисторов. Указанные факторы требуют разработки более дешевого способа подгонки, обеспечивающего высокую стабильность сопротивлений резисторов.

В [1] сообщается о подгонке тонкоплёночных резисторов сравнительно простым и дешевым методом факельного разряда. Такая подгонка вносит малое возмущение в параметры резисторов, т.к. температура воздуха в канале факельного разряда не превышает 4500К. Умеренная температура в зоне подгонки благоприятно сказывается на свойствах резисторов. Источники тепла при такой подгонке сосредоточены в одном канале разряда в отличие, например от кронного разряда, когда источники тепла распределены по нескольким каналам. Это позволяет достигать высокой точности подгонки (0,01%).

Факельный разряд - один из видов высокочастотного одноэлектродного электрического разряда. Свободный факельный разряд представляет собой плазменное образование с ярко выделенным каналом и оболочкой. Как правило, он возникает при частотах более 5МГц [2, 3] и легко зажигается на заостренных электродах с большой кривизной, тонких проволоках и т.д. Температура факельного разряда в различных точках различна и изменяется от 2000К на

границе оболочки до 4500К вблизи электрода. Его структура определяется мощностью, вводимой в разряд, типом окружающего газа и частотой питающего поля. Основные параметры факельного разряда определяются с помощью электродинамической модели, для которой разряд представляется в виде столба плазмы, вдоль которого распространяется плоская неоднородная поперечно-магнитная волна [4].

2. Мощность источника разряда

Важнейшим параметром источника разряда является мощность. Для определения требуемого значения мощности была разработана физическая модель взаимодействия факельного разряда с толстой пленкой. Падающее на поверхность непрозрачной пленки излучение частично отражается, частично поглощается поверхностным слоем. Поглощение энергии приводит к локальному разогреву.

В первом приближении можно считать, что взаимодействие факельного разряда на пленку с энергетической точки зрения эквивалентно воздействию лазерного излучения. Тогда поверхность в зоне обработки нагревается до температуры испарения за время t_n , определяемая из соотношения [3]

$$t_n = \frac{\pi}{4} * \frac{\lambda c \gamma}{W^2} (T_i - T_0)^2,$$

где λ - теплопроводность вещества пленки, Вт/м*;

c - теплоемкость, Дж/кг*;

γ - плотность пленки, кг/;

W – плотность потока излучения, Вт/м²;

T_i - температура испарения материала пленки, ;

T_0 - начальная температура пленки.

Плотность потока излучения разряда можно записать следующим образом:

$$W = \sqrt{\frac{\pi}{4} * \frac{\lambda c \gamma}{t_n} (T_i - T_0)^2}.$$

С другой стороны, плотность потока можно определить через поперечное сечение канала:

$$W = P/S,$$

где P - мощность факельного разряда, Вт;

$S = \pi r^2$ - площадь поперечного сечения канала разряда, мм²;

r - радиус канала разряда, мм.

Мощность факельного разряда равна

$$P = P_1 \eta,$$

где P_1 – мощность генератора, Вт;

η – КПД генератора.

Отсюда мощность генератора можно записать следующим образом:

$$P_1 = \frac{P}{\eta} = \frac{WS}{\eta} = W\pi r^2 / \eta. \quad (1)$$

Формула (1) позволяет оценить требуемую мощность источника разряда. Она в первую очередь определяется характеристиками материала резистивного слоя – λ, c, γ, T_n . Чем больше произведение $\lambda c \gamma$, тем выше должна быть мощность источника. Поэтому мощность P_1 будет определяться в основном характеристиками проводящих компонентов резистивного слоя – в данном случае меди, палладия и серебра.

Величины t_n и r выбираются исходя из требуемых и разумных значений трудоемкости и точности подгонки.

Примем $t_n = 6 * 10^{-2}$ с, и $r = 0,2$ мм, $\eta = 0,6 \dots 0,7$. Тогда $P_1 = 30 \dots 35$ Вт.

3. «Электродинамическая модель» разряда

Согласно этой "электродинамической модели" вдоль канала ВЧФР распространяется затухающая поперечно- магнитная волна. При этом предполагается, что отражение ее на конце

канала разряда несущественно, и им можно пренебречь. В этом случае распределение электрических токов в канале ВЧФР имеет вид [4-6]:

$$I = I_0 e^{-jz\gamma}; \quad \gamma = \alpha + j\beta, \quad (2)$$

где γ – комплексный коэффициент распространения электромагнитной волны (волновое число) вдоль канала разряда.

Авторами [7] проведён анализ электродинамической модели и установлено, что в общем случае задача нахождения распределения электрических токов в излучателе по данным измерений создаваемого им поля достаточно сложна, и ее решение математически разработано [8] только для анализа компонент поля в дальней зоне излучения. Однако ее приближенное решение несложно получить, основываясь на том или ином численном методе расчета интеграла Кирхгофа-Гюйгенса.

Показано, что в соответствии с методом трапеций приближенное значение выражения (2) запишется в виде [9]:

$$H_\varphi(z) = \frac{1}{4\pi} \int_0^L \left[\frac{jkyI(z')e^{-jkr'}}{r'^2} + \frac{yI(z')e^{-jkr'}}{r'^3} \right] dz' = \int F(z'; r'; y) dz' \approx \\ \approx \frac{1}{\Delta z'} \left[\frac{1}{2} [F(z') + F(z'_n)] + F(z'_1) + \dots + F(z'_{n-1}) \right] | y = const.$$

Ими были выявлены недостатки электродинамической модели. Основной из них – отсутствие учёта отражённой электромагнитной волны.

4. Новая электродинамическая модель

В новой модели проведён учёт конечности длины канала ВЧФР. При теоретическом рассмотрении это выражается прежде всего в учете наличия в канале разряда отраженной электромагнитной волны [10].

Была рассмотрена волна электрического тока, распространяющаяся вдоль линии конечной длины. В общем виде ток, протекающий вдоль линии конечной длины, определяется [9] следующим образом:

$$\dot{I} e^{j\omega t} = \dot{I}_0 e^{j\omega t} [e^{\gamma z} + c e^{j\zeta} e^{-\gamma z}].$$

Здесь \dot{I} , \dot{I}_0 – комплексные амплитуды ВЧ-токов, соответственно в точках z и $z = 0$; $\gamma = \alpha + j\beta$ – комплексный коэффициент распространения (волновое число) электромагнитной волны в канале ВЧФР; $c e^{j\zeta}$ – комплексный коэффициент отражения электромагнитной волны на конце линии.

Для высокочастотного тока, распространяющегося по линии конечной длины, получим выражение для действующего значения тока:

$$|I| = |I_0| [e^{\alpha z} \cos \beta z + C e^{-\alpha z} \cos(\varphi - \beta z)]^2 + [e^{\alpha z} \sin \beta z + C e^{-\alpha z} \sin(\varphi - \beta z)]^2.$$

Интеграл мощности для случая $C=1$, $\varphi=0$ запишется следующим образом:

$$W = 2\sigma^{-1} |I_0|^2 \int_0^z (ch 2\alpha z - \sin^2 \beta z) dz. \quad (3)$$

Мощность, диссипирующую в канале ВЧФР, была найдена путем интегрирования выражения (3):

$$W(L) = 2\sigma^{-1} |I_0|^2 \left[\frac{ch 2\alpha L}{2\alpha} + \frac{1}{4\beta} \sin \beta L \cos \beta L - \frac{L}{2} \right].$$

5. Устройство подгонки пленочных резисторов

Из-за низкой стабильности разряда резистивный материал в зоне реза не всегда проплавляется на всю глубину. Образуется нестабильная фаза материала. Кроме того, неавтоматизированный процесс подгонки является трудоемким и трудноуправляемым.

В данной работе была поставлена задача повышения стабильности технологического процесса факельной подгонки и, тем самым, воспроизводимости параметров резисторов.

Средством достижения поставленной цели служит разработанная установка для подгонки (рисунок 1).

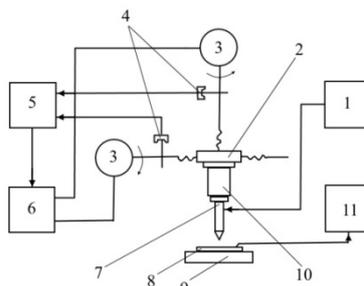


Рисунок 1. Установка для подгонки: 1 – генератор разряда; 2 – координатный стол; 3 – двигатели; 4 – фотодатчик; 5 – блок управления; 6 – блок коммутации; 7 – рабочий электрод; 8 – подложка с резистором; 9 – подложкодержатель; 10 – вибратор; 11 – измеритель сопротивления.

Установка функционирует следующим образом. Двигатели посредством движения столов перемещают рабочий электрод над подложкой. Для измерения величины перемещения столов по осям X и Y предназначены фотодатчики. Блок управления сравнивает заданное значение перемещения с «отработанным» и выдает сигнал «Останов» для схемы коммутации двигателей при равенстве заданного и пройденного расстояний. Блок коммутации производит коммутацию двигателей в зависимости от выбранного направления перемещения и исходной координаты. Этот же блок производит остановку двигателей по команде оператора или автоматически по сигналу с блока/правления. Кинематические схемы перемещений по осям X и Y идентичны. Люфт в поводковой муфте не влияет на точность «отработки» перемещений, т.к. датчик перемещений жестко связан с микрометрическим винтом.

Рассмотрим более подробно работу блока управления. Сигнал, поступающий с фотодатчиков, усиливается и поступает на формирователь импульсов, который формирует импульсы прямоугольной формы, необходимые для работы счетчиков. В счетчики предварительно записываются значения необходимого перемещения. С приходом импульса число, записанное в счетчике, уменьшается на единицу, а после записи нуля счетчик выдает импульс на схему совпадения и на следующий счетчик, после чего сам заполняется до значения «9». Схема совпадения выдает на один из усилителей уровень логической единицы при условии одновременного прихода на ее входы импульсов перехода через «0» со счетчиков. Для прекращения перемещения в схему коммутации двигателей поступает сигнал с реле. В свою очередь для срабатывания реле необходимо усиление сигнала схемы совпадения.

Подгонка производилась при мощности разряда 30...100Вт. При этом скорость перемещения рабочего электрода относительно резистора составляла 5...20мм/мин, а контактирование рабочего электрода с подгоняемым резистором осуществлялось с частотой 20...100Гц. Для выбора параметров режима подгонки использовалась математическая модель [11].

Следует отметить, что стабильность факельно-дугового разряда существенно выше, чем у чисто факельного. Стабилизации разряда способствует также повышение мощности разряда до 100Вт. Соответственно повышается управляемость процессом подгонки и воспроизводимость параметров резисторов.

Однако проведенные нами исследования показали, что устойчивость и стабильность технологического процесса подгонки в ряде случаев является низкой. В связи с этим была поставлена задача построения математических моделей распределения температуры газа вдоль оси канала факельного разряда при подгонке и взаимодействия разряда с плёночным элементом. Такие задачи были описаны в [11, 12]. В данной работе рассмотрим получение рабочих моделей.

6. Модель распределения температуры газа при подгонке

Уравнение теплового баланса запишем в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\lambda_{\phi} \frac{\partial T_z}{\partial z}) = aE^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(bT_z)^n}{n!} - 2\rho_B \cdot C_B \cdot V_Z \frac{\partial T_z}{\partial z} - \varepsilon C_0 2\pi R_{0\phi} \varphi \cdot 10^{-8} (T_{\phi}^4 - T_0^4) - \frac{\rho_R h S_U}{\tau_0} \{L_U + C_{IR}(T_U - T_0) * (1 + k_{HP}) + [(L_{II} + C_R(T_{II} - T_0))(1 + k_{HP} + k_{II})] + \frac{2\pi h T_0 \ln \frac{4h}{R_U + R_{II}} \cdot [C_R \rho_R (R_H - R_{II})]^2}{\lambda_R - \rho_R C_R (R_H - R_{II}) \ln \frac{4h}{R_U + R_{II}}}$$

Для разрешения вышеописанного дифференциального уравнения относительно T_z применяются общие методы решения таких уравнений. Решение представляется в виде суммы общего и частного решений. При нахождении частного решения и коэффициентов в общем решении используются считающиеся известными данные о температурах; T_{ϕ} – температуре в начальной точке у основания факела и T_0 – в точке $Z_0 = h + h_{II}$. Опуская подробные выкладки поиска решений, окончательный вид распределения T_z по оси Z в удобном для восприятия виде:

$$T_z = A \cdot e^{\alpha \cdot z} + B \cdot e^{-\beta \cdot z} + C,$$

где

$$A = \frac{T_0 e^{\frac{h+h_{II}}{2}} \left[\sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{4abE^2}{\lambda_{\phi}}} - \frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}} \right] - T_{\phi}}{e^{(h+h_{II})} \sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{4abE^2}{\lambda_{\phi}}} - 1};$$

$$B = \frac{T_{\phi} e^{(h+h_{II})} \sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{4abE^2}{\lambda_{\phi}}} + T_0 e^{\frac{h+h_{II}}{2}} \left(\sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{4abE^2}{\lambda_{\phi}}} - \frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}} \right)}{e^{(h+h_{II})} \sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{4abE^2}{\lambda_{\phi}}} - 1} *;$$

$$C = \frac{2\pi \cdot z \cdot T_0 \ln \frac{4h}{(R_U + R_{II})} [C_R \rho_R (R_U + R_{II})]^2}{abE^2 [\lambda_R - C_R \rho_R (R_U + R_{II}) \ln \frac{4h}{(R_U + R_{II})}] - \frac{1}{\epsilon} + \frac{2\varepsilon \cdot C_0 \pi \cdot R_{0\phi} \varphi \cdot l (T_{\phi}^4 - T_0^4)}{ab \cdot 10^8 E^2} - \frac{Z \rho_R S_4}{ab \tau \cdot E^2} [L_U + C_{IR}(T_U - T_{II})(1 + K_{HP}) + (1 + K_{II} + K_{HP}) \cdot (L_{II} + C_R(T_{II} - T_0))];$$

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{abE^2}{\lambda_{\phi}}} - \frac{\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}};$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{2\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}\right)^2 + \frac{abE^2}{\lambda_{\phi}}} + \frac{\rho_{\epsilon} C_{\epsilon} V_Z}{\lambda_{\phi}}.$$

7. Модель взаимодействия ВЧФР с элементом

Опустим промежуточные формулы и эквивалентные преобразования. Получим окончательное выражение:

$$P_{\phi} e^{-\frac{2\sqrt{\omega v}}{\sqrt{5}\omega_{Le} r_c}(l+h)} = G_1 R_u^2 + G_2 + 8\pi 10^6 \sqrt{\frac{bt\lambda_{\phi}^3 e^{aT_u G^{-1}}}{\omega a^3 (G_1 R_u^2 + G_2)}}, \quad (4)$$

где

$$G_1 = \frac{\pi h \rho_R}{t} \left[L_u + A_4 \left(1 + \frac{k_{1nn} \rho_{nn}}{\rho_R R_u^2} \right) + (L_n + A_3) \left(1 + \frac{\rho_{nn}}{\rho_R R_u^2} \right) \right] + \frac{\pi h \rho_R}{t} (L_n k_{1n} + A_3) \sqrt{k_n + k_{nn} + R_u^2};$$

$$G_2 = \frac{2\pi h T_0 (C_R \rho_R k_n)^2 A_1}{\lambda_R + C_R \rho_R k_n A_1},$$

Особенность полученного выражения (4) в том, что оно связывает все физические и геометрические параметры системы ВЧФР-пленка – подложка и технологический параметр l .

Используя полученное выражение, можно найти зависимости различных параметров от всей совокупности параметров взаимодействующей системы.

Так, разрешив (4) относительно l , можно найти зависимость величины зазора l от R_u или R_{ϕ} при фиксированных значениях остальных параметров, что представляет большой интерес при исследовании вопроса подгонки толстопленочных резистивных элементов высокочастотным факельным разрядом бесконтактным методом.

Теория факельного разряда описана в работах [13-24].

8. Литература

- [1] Чернобровкин, Д.И. Прибор для подгонки тонкопленочных элементов микросхем // Д.И. Чернобровкин, Н.Д. Мишанин, М.Н. Пиганов // Приборы и системы управления. – 1978. – №6. – С. 45-46.
- [2] Трехов, Е.С. Влияние параметров безэлектродного плазмотрона на режим работы высокочастотного генератора / Е.С. Трехов, А.Ф. Фоменко // Физика газоразрядной плазмы. – М.: Автомиздат, 1968. – Вып. 1. – С. 18-22.
- [3] Пиганов, М.Н. Подгонка сопротивления толстопленочных резисторов методом факельного разряда / М.Н. Пиганов, А.В. Волков // Техника средств связи. Сер. «Технология производства и оборудование». – 1985. – №2. – С. 29-35.
- [4] Качанов, А.В. Электродинамическое описание высокочастотного факельного разряда / А.В. Качанов, Е.С. Трехов, Е.П. Фетисов // Сб. Физика газоразрядной плазмы. – М.: Автомиздат, 1968. – Вып. 1. – С. 39-47.
- [5] Трехов, Е.С. К теории высокочастотного факельного разряда в воздухе // Е.С. Трехов, Е.Л. Тюрин, Е.П. Фетисов // Физика газоразрядной плазмы. – М.: Автомиздат, 1969. – Вып. 2. – С. 148-155.
- [6] Качанов, А.В. Некоторые вопросы генерации плотных плазменных струй в проточном факельном разряде / А.В. Качанов, Е.С. Трехов, Е.П. Фетисов // Сб. Физика газоразрядной плазмы. – М.: Автомиздат, 1968. – Вып. 1. – С. 52-59.
- [7] Тихомиров, И.А. Электродинамика высокочастотного факельного разряда / И.А. Тихомиров, В.А. Власов, Ю.Ю. Луценко, А.А. Зорин // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, №1. – С. 21-29.
- [8] Уолтер, К. Антенны бегущей волны / К. Уолтер. – М.: Связь, 1970. – 372с.
- [9] Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. – М.: Наука, 1955. – 778 с.
- [10] Тихомиров, И.А. Электродинамика высокочастотного разряда / И.А. Тихомиров, В.А. Власов, Ю.Ю. Луценко, А.А. Зорин // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 306, №1. – С. 21-29.

- [11] Костин, А.В. Математическое моделирование взаимодействия высокочастотного факельного разряда с элементами конструкции радиоаппаратуры / А.В. Костин, М.Н. Пиганов, А.В. Столбиков // Вестник СГАУ. – 2011. – №7. – С. 117-121.
- [12] Столбиков, А.В. Построение математической модели распределения температуры газа вдоль оси канала факельного разряда при взаимодействии с толстоплёночными элементами микросборок / А.В. Столбиков, М.Н. Пиганов, А.В. Костин // Вестник СГАУ. – 2011. – №7. – С. 113-116.
- [13] Тихомиров, И.А. Факельный разряд как линия с распределёнными параметрами / И.А. Тихомиров, В.В. Тихомиров, В.С. Левашов // Известия Томского политехнического университета. – 1976. – Т. 276. – С. 12-15.
- [14] Тихомиров, И.А. Определение некоторых параметров высокочастотного факельного разряда / И.А. Тихомиров, В.В. Тихомиров, В.Я. Федянин // Известия Томского политехнического университета. – 1972. – Т. 225. – С. 186-188.
- [15] Тихомиров, И.А. Исследования экранированного ВЧ факельного разряда СВЧ и спектральными методами / И.А. Тихомиров, В.В. Тихомиров, В.Я. Федянин, А.А. Соловьев, М.М. Пуговкин, А.И. Кузьминых, Н.М. Сеницын // Известия Томского политехнического университета. – 1976. – Т. 276. – С. 70-73.
- [16] Тихомиров, И.А. Некоторые электрофизические характеристики высокочастотного факельного разряда / И.А. Тихомиров, В.Л. Теплоухов, В.А. Верняев // Известия Томского политехнического университета. – 1976. – Т. 276. – С. 60-65.
- [17] Луценко, Ю.Ю. Влияние осевой неоднородности плазмы высокочастотного факельного разряда на его электродинамические характеристики / Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов, Е.П. Зеленецкая // Теплофизика и аэромеханика. – Томск: Томский политехнический университет. – 2013. – Т. 20, №1. – С. 117-122.
- [18] Власов, В.А. Определение волнового числа электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда / В.А. Власов, И.А. Тихомиров, Ю.Ю. Луценко // Теплофизика и аэромеханика. – Томск: Томский политехнический университет. – 2006. – Т. 13, №1. – С. 147-151.
- [19] Власов, В.А. Определение электрических характеристик высокочастотного факельного разряда / В.А. Власов, Ю.Ю. Луценко, И.А. Тихомиров // Теплофизика и аэромеханика. – Томск: Томский политехнический университет. – 2008. – Т. 15, №1. – С. 131-137.
- [20] Луценко, Ю.Ю. О характере затухания электромагнитного поля в плазме высокочастотного факельного разряда / Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов, И.А. Тихомиров // ЖТФ. – 2006. – Т. 32, № 1. – С. 23-27.
- [21] Халдеев, В.Н. К вопросу о факельном компоненте энергии электрического разряда / В.Н. Халдеев, М.Н. Макаров // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – 2014. – Т. 4, № 82. – С. 13-22.
- [22] Пиганов, М.Н. Устройство для подгонки толстоплёночных резисторов / М.Н. Пиганов, Г.П. Шопин, А.В. Столбиков, Ю.П. Ерендеев // Вестник СГАУ. – 2014. – №2. – С. 61-67.
- [23] Тюлевин, С.В. Устройство для подгонки толстоплёночных резисторов методом факельного разряда / С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов, Г.П. Шопин, А.В. Столбиков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, №1(2). – С. 557-560.
- [24] Пиганов, М.Н. Устройство для подгонки толстоплёночных резисторов. Пат. 2371797 / М.Н. Пиганов, Г.П. Шопин, А.В. Столбиков // Российская Федерация МПК H01C 17/22.; заявитель и патентообладатель: СГАУ. №2008127155/09; заявл. 03.07.2008, опублик. 27.10.2009. Бюл. №30. – 9 с.

Process modeling of adjustment of thick film resistors by method of flare discharge

M.N. Piganov¹, D.N. Novomeyskiy¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. The procedure is provided mathematical process modeling of adjustment of thick film resistors of hybrid integrated microcircuits is provided by method of torch discharge. The device providing adjustment of resistors with the given accuracy is described. A mathematical expression is obtained that relates all the physical and geometrical parameters of the system "discharge-resistor-substrate" and the technological parameter. Recommendations about stability augmentation of resistors after adjustment are developed.

Keywords: modeling, mathematical model, thick-film resistor, adjustment, flare discharge, adjusting device.