

Устройство отличается достаточно компактными размерами, малым энергопотреблением, высокой точностью сигналов, недоступной даже компьютерным системам подачи звонков.

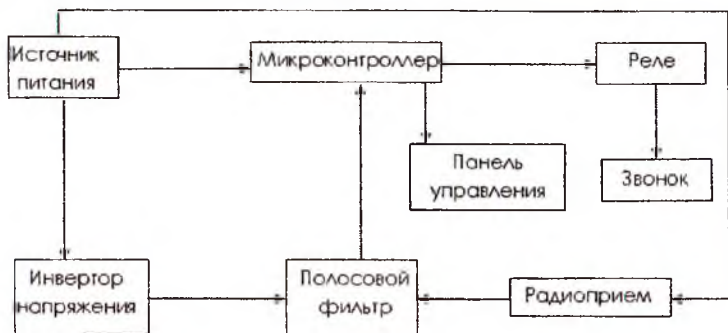


Рис. 1. Структурная схема устройства

Список использованных источников

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2003.
2. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
3. Майкл Предко Справочник по PIC-микроконтроллерам. – М.: ДМК, 2006.
4. PIC 18F2X20 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers, Microchip Technology Incorporated, USA. Техническая документация.
5. Радиоприемник «Ирель-401». Техническая документация.

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА НА ТЕМПЕРАТУРУ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ В ПЛАЗМЕ ОТКРЫТОГО РАЗРЯДА

В.Д. Паранин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Газоразрядная плазма широко применяется в процессах формирования поверхностных микро- и наноструктур [1], очистки, полирования поверхности подложек [2]. В настоящее время известны различные способы и устройства реализации газовых разрядов, отличающихся главным образом механизмами возбуждения частиц рабочего газа, характером движения потоков плазмы к обрабатываемой поверхности.

Одной из последних разработок в области физики плазмы является открытие и реализация открытого газового разряда (ОГР) [3-7], достоинствами которого являются простота газоразрядного устройства, прямолинейный характер движения заряженных частиц, возможность эффективного управления энергией и плотностью потоков частиц плазмы, возможность реализации разряда в широком диапазоне давлений (десятые доли – десятки мм рт.ст.). К настоящему времени накоплен значительный объем экспериментальных и теоретических материалов, касающихся механизмов образования и поддержания самостоятельного ОГР [3,4], параметров разряда в непрерывных и импульсных режимах работы [5,6], практического применения в типовых технологических процессах микроэлектроники [6,7].

Важным вопросом практического применения открытого разряда является исследование вопросов энергетического взаимодействия направленных потоков плазмы с обрабатываемой (рабочей) поверхностью подложек. Очевидно, что характер взаимодействия будет определяться в каждом конкретном случае индивидуально, исходя из типа обработки, применяемых материалов, режима работы газоразрядного устройства.

Для случая равномерной обработки всей поверхности подложки в работе [8] была предложена обобщенная математическая модель, выражающая температуру T_{surf} рабочей поверхности через величину подводимого теплового потока q_1 и температуру нижнего основания образца T_{low} . Решение задачи было получено с помощью интегрального преобразования Лапласа в виде:

$$T_{surf}(p) = T_0(p) + Q_1(p)K_2(p) + \frac{K_1(p)}{K_2(p)} [T_{low}(p) - T_0(p) - Q_1(p)K_1(p)], \quad (1)$$

где $T_0(p)$, $Q_1(p)$ – изображения начальной температуры T_0 , теплового потока $q_1(t)$ соответственно; а оригиналами K_1 , K_2 являются функции:

$$\begin{cases} K_1(b, t) = \frac{a}{b\lambda} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^n (-1)^k \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2 a t}{b^2}\right) \right]; \\ K_2(0, t) = \frac{a}{b\lambda} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2 a t}{b^2}\right) \right]; \end{cases} \quad (2)$$

где b – толщина образца, м; $a = \lambda / C$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; C – объемная теплоемкость материала, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

Для нахождения действительного вида функции $T_{surf}(t)$ необходимо воспользоваться обратным преобразованием:

$$T_{surf}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} T_{surf}(p) \exp(pt) dp. \quad (3)$$

Достоинствами предложенного решения является его простота, аналитичность, практическая точность на уровне 85 - 90%. Вместе с этим в работе [8] были указаны недостатки данного способа расчета, заключающиеся в рассмотрении исключительно линейной теплофизической модели, т.е. зависимость теплоемкости и теплопроводности материалов от температуры не учитывалась. Данное обстоятельство может приводить к значительным погрешностям расчета, порядка десятков - сотен процентов для разности температур ΔT между верхней и нижней поверхностями подложки.

Для устранения указанного недостатка в данной работе предлагается воспользоваться следующим подходом. Анализ выражений (1) - (3) показывает, что при $t \rightarrow \infty$ решение (3) приводится к виду:

$$T_{surf}(t) = T_{low}(t) + q_1(t) \frac{b}{\lambda}. \quad (4)$$

если перенести $T_{low}(t)$ в левую часть (4), то получим известную формулу теплотехники:

$$\Delta T(t) = q_1(t) \frac{b}{\lambda}. \quad (5)$$

Формула (5) фактически определяет перепад температуры ΔT на тонком образце толщиной b и теплопроводностью λ для установившегося (стационарного) теплового поля. Критерием замены решения (1) - (3) на упрощенную зависимость (5), очевидно, будет его относительная погрешность. Оценим ее величину. Согласно [8] для образцов толщиной 1-2 мм в типичных режимах ОГР время установления теплового поля составляет ~ 1 с. Скорость возрастания температуры образца также зависит от выбранного режима и находится в диапазоне 0,1 - 0,5 град/с (рис. 1). Из этого следует, что теоретическая погрешность предложенной замены составит около 0,5 К для наихудшего случая (максимальной тепловой нагрузки образца). Таким образом, для величин ΔT порядка десятков градусов погрешность расчетов по упрощенной зависимости (5) оказывается несущественной.

На рис. 2 приведены зависимости теплопроводности кремния и германия от температуры. Как следует из формулы (5) и рис. 2 применение линейной теплофизической модели (1) - (3) для расчета ΔT внесет погрешность около 300 - 600% при изменении температуры кремниевго образца от 300 до 470 - 670 К.

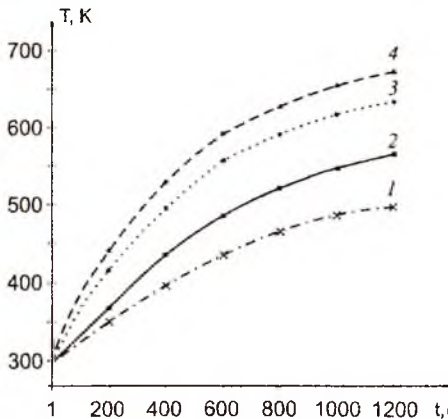


Рис. 1. Изменение температуры нижней поверхности образца в течение технологического процесса

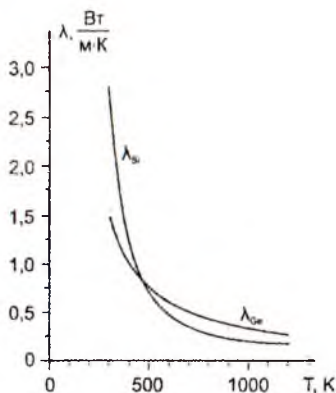


Рис.2. Зависимости теплопроводности чистого кремния и германия от температуры

В рамках сформулированного упрощенного подхода (5) можно учесть зависимости $\lambda = \lambda(T)$ и $q_i = q_i(T)$, имеющие место для нелинейных материалов подложки и нестабильных режимах обработки. Причем в качестве теплопроводности $\lambda(T)$ можно использовать как упрощенную величину $\lambda(T=T_{low})$, так и ее среднеинтегральное значение на толщине образца, что является более точной оценкой:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{T_{surf} - T_{low}} \int_{T_{low}}^{T_{surf}} \lambda(T) dT. \quad (6)$$

После подстановки (6) в (5) и приведения подобных получим:

$$q_1(t)b = \int_{T_{low}}^{T_{surf}} \lambda(T)dT. \quad (7)$$

Для решения (7) в необходимо аппроксимировать (интерполировать) зависимость $\lambda(T)$ аналитической функцией по крайней мере в рабочем диапазоне температур. При этом аппроксимирующая зависимость должна обеспечивать необходимую точность описания вида $\lambda(T)$, а также иметь такой вид, который позволял бы удобным образом (в явном аналитическом виде) разрешить (7) относительно T_{surf} . Поскольку имеет место временная зависимость $T_{low}=T_{low}(t)$, $q_1=q_1(t)$, то решение T_{surf} будет также зависеть от времени t технологического процесса.

Таким образом, для случая равномерной обработки поверхности образца в плазме ОГР в работе предложен и обоснован метод учета влияния нелинейности теплофизических характеристик материала подложки на процессы нестационарного теплообмена в системе «образец – ОГР». Недостатком предложенного метода, равно как и изложенного в [8], остается неучтенный боковой градиент температуры в краевых областях подложки, что связано с одномерным характером решения задачи.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке некоммерческого стипендиального фонда «Династия».

Список использованных источников

1. Черняев, В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров: учеб. для вузов [Текст] / В.Н.Черняев. – М.: Радио и связь, 1987. – 404 с.
2. Коледов, Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: учеб. для вузов [Текст] / Л.А.Коледов. – М.: Радио и связь, 1989. – 400 с.
3. Сорокин, А.Р. Открытый разряд: структура, развитие, роль фотоэмиссии [Текст] / А.Р.Сорокин // Журнал технической физики. – 1998. – Т.68. – №3. – С.33-38.
4. Сорокин, А.Р. Формирование электронных пучков в открытом разряде [Текст] / А.Р.Сорокин // Письма в Журнал технической физики. – 2000. – Т.26. – Вып.24. – С.89-93.
5. Сорокин, А.Р. Барьерный открытый разряд атмосферного давления [Текст] / А.Р.Сорокин // Письма в Журнал технической физики. – 2003. – Т.29. – Вып.9. – С.42-55.
6. Казанский, Н.Л. Исследование механизмов формирования низкотемпературной плазмы газовым разрядом высоковольтного типа [Текст]/ Н.Л.Казанский, В.А.Колпаков // Компьютерная оптика. - 2003. - №25. - С.112-117.

7. Колпаков, В.А. Моделирование процесса травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа [Текст] / В.А.Колпаков // Микроэлектроника. – 2002. – Т.31. - №6. – С.431-440.

8. Казанский Н.Л. Метод определения температуры поверхности в области ее взаимодействия с потоком низкотемпературной плазмы [Текст] / Н.Л. Казанский [и др.] // Журнал технической физики. – 2007. – Т.77. - №12. – С.21-25.

9. Регель, А.Р. Физические свойства электронных расплавов [Текст] / А.Р.Регель, В.М.Глазов. – М.: Наука, 1980. – 413 с.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

М.Н. Пиганов, А.М. Баталова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Современный этап развития радиоэлектроники характеризуется обострением проблемы надежности радиоэлектронных средств (РЭС). Он характеризуется как резким увеличением количества используемых элементов и блоков, так и появлением качественно новых ответственных функций, возлагаемых человеком на аппаратуру, в расширении условий ее работы. Современной аппаратуре часто приходится функционировать в экстремальных условиях и выполнять разнообразные функции. В силу этих причин повышаются требования к точности и эффективности выполнения целевых функций не только системой в целом, но и каждым отдельным элементом. В наиболее тяжелых условиях должна функционировать аппаратура, установленная на борту ракет-носителей и космических аппаратов, которая усложняется с каждым годом.

Усложнение конструктивно-технологических вариантов бортовых РЭС проявляется и в увеличении общего числа операций в технологическом процессе (ТП). Каждая технологическая операция оказывает влияние на точность выходных функциональных параметров и, следовательно, на качество и надежность бортового устройства.

Получаемые в ходе ТП параметры устройства определяются задаваемыми на различных этапах режимами обработки - по нескольким важнейшим параметрам для каждой операции, причем часто на формирование одного параметра устройства оказывают влияние различные режимные параметры (факторы) с нескольких операций. В этом проявляются принципы технологической наследственности.

Таким образом, качество и надежность РЭС определяется множеством факторов, причем число их увеличивается.