

мента // Труды Междунар. конф. "Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления" (Датчик-97). М.: МГИЭМ. 1997. С. 412-414. 2. *Быков В.И., Лукашенко А.Г., Лукашенко В.М.* Малогабаритное электрическое устройство задержки широкополосных сигналов связи // Труды 2-й Междунар. конф. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". Ч. 1. Харьков-Туапсе: ХТУРЭ. 1996. С. 103. 3. *Шило В.Л.* Популярныe цифровые микросхемы. Справочник. 2-е издание. М: Радио и связь. 1998. 167с. 4. *Лукашенко В.М., Скуратов Е.Г., Суслов В.В.* Маломощный многоканальный коммутатор Б1110КН1-2 // Электронная промышленность. 1983. № 4. С. 23. 5. *Лукашенко В.М., Пономарева О.Л., Юликов М.В.* Двухпозиционный МДП-коммутатор на 32 канала // Электронная техника для обработки изображений / Под ред. В.В.

Малинина. Новосибирск: НТОРЭС им. А.С. Попова, 1980. С.20-21. 6. А.с.1365127, СССР. Запоминающее устройство / *Лукашенко В.М.* 1988. Бюл. № 1, 4 с.

Поступила в редколлегию 20.06.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Шарапов В.М.

Лукашенко Валентина Максимовна, канд. техн. наук, доцент Черкасского инженерно-технологического института. Научные интересы: разработка научных основ создания элементов, схем устройств вычислительной техники и приборов для навигационных систем управления. Увлечения: изобретательство и рыбалка. Адрес: Украина, 257021, Черкассы, ул. Гагарина-55, кв. 423, тел. (0472)-16-01-14.

УДК 621.391(07), 658.12.512.011, 519.85

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОФАКТОРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ И ВЫБОРА ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ШТРИХОВОГО КОДА

ГОЛУБ В.И., ГРЕБЕННИК И.В., КУЗЬМЕНКО В.М.

Проводится обоснование и построение математической модели многофакторного оценивания технологических штриховых кодов. Формируются критерии их оценки. Описывается схема выбора варианта штрихового кода с учетом набора факторов, влияющих на эффективность его применения в почтовой связи.

В последнее время штриховые коды все шире применяются в системах автоматической идентификации и сортировки. При этом наряду со стандартными штриховыми кодами [1] возникает потребность в штриховых кодах со специфическими требованиями. Такие штриховые коды могут использоваться в рамках технологических процессов, особенности которых диктуют требования к формированию кодов. Рассмотрим задачу оценивания и выбора варианта штрихового кода с заданным набором требований, который может быть использован в почтовой связи.

Пусть $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – первичный алфавит с n качественными признаками, $B=\{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ – вторичный алфавит с m качественными признаками. Обозначим K множество всевозможных кодовых комбинаций длины L символов вторичного алфавита. Количество элементов множества K можно оценить как $\text{Card } K=m^L$.

Необходимо выбрать количество m качественных признаков вторичного алфавита, определить длину L и структуру допустимых кодовых комбинаций $K_j \in K$ таким образом, чтобы эффективно закодировать все символы первичного алфавита. Математическую модель такой задачи можно представить в следующем виде:

$$F(n, m, L, K^*) \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

$$K^* \subset K, \quad (2)$$

$$\text{Card } K^* \geq n, \quad (3)$$

где F – критерий эффективности кода (в общем случае векторный); K^* – множество кодовых комбинаций

из K , удовлетворяющих заданному набору требований. Количество элементов в множестве K^* должно быть не менее n .

Конкретизируем задачу применительно к штриховым кодам, имеющим два качественных признака – штрих единичной ширины и промежутки (пробел) единичной ширины. Поставим штриховому коду с указанными качественными признаками во взаимнооднозначное соответствие двоичный код по правилу: штрих единичной длины обозначим 1; промежутки – 0. Тогда вторичный алфавит примет вид $B=\{0,1\}$. Количество элементов множества K всевозможных кодовых комбинаций длины L равно 2^L . Задача построения эффективного штрихового кода для кодирования первичного алфавита A с n качественными признаками в этом случае может быть сформулирована следующим образом. Необходимо выбрать длину L кодовых комбинаций и подмножество допустимых кодовых комбинаций K^* в множестве K всевозможных двоичных наборов длины L , чтобы критерий эффективности принял экстремальное значение и были выполнены все требования к структуре кода, порождающие ограничения задачи:

$$F(n, L, K^*) \rightarrow \text{extr}, \quad (4)$$

$$K^* \subset K, \quad (5)$$

$$\text{Card } K^* \geq n. \quad (6)$$

При этом множество допустимых кодовых комбинаций K^* должно удовлетворять заданному набору требований. Источниками требований к виду, структуре и характеристикам штриховых кодов (кодвые комбинации которых составляют допустимые варианты множеств K^*) служат положения государственных стандартов, технология обработки информации об отправлениях, техническая база для нанесения и считывания штриховой информации, вопросы контролепригодности и др.

Эффективность использования конкретного штрихового кода K^* в технологическом процессе зависит от набора факторов, среди которых [2]:

– тип поверхности, на которую наносится штриховой код;

– требования к качеству печати (нанесения) кода;

– длина кодовых комбинаций, кодирующих символы первичного алфавита;

– характеристики кода, определяющие его помехозащищенность и контролепригодность и др.

Перечисленные факторы, являясь характеристиками штрихового кода, служат источниками формирования критериев его эффективности. Анализируя

и группируя эти факторы, можно выделить по крайней мере два локальных критерия – стоимостной (первые два фактора) и длину кодовых комбинаций (третий фактор). Последний из перечисленных факторов позволит сформировать набор ограничений. Локальные критерии обозначим соответственно через $f_1(x)$ – стоимость и $f_2(x)$ – длина кодовых комбинаций, $x \in X$, где X – множество допустимых решений (т.е. допустимых в смысле предъявляемых требований кодовых комбинаций длины L , кодирующих n символов первичного алфавита). Таким образом, X – множество элементов вида $x=(n, L, K^*)$. Если относительную важность локальных критериев обозначить $A = \{\lambda_1, \lambda_2\}$, то задачу можно представить в виде [3]: определить

$$x^0 = \underset{x \in X}{\text{opt}} G[F(x), A]. \quad (7)$$

В случае, когда установлен вид оператора $\text{opt } G$, т.е. задан обобщенный критерий или указано правило, позволяющее упорядочивать возможные решения, получение x^0 не вызывает принципиальных трудностей.

Конкретное выражение для оператора $\text{opt } G$ определяется аналитическим видом локальных критериев $f_1(x)$, $f_2(x)$, а также информированностью ЛПР об их важности.

Одним из основных подходов к решению (7) является сведение многокритериальной задачи к однокритериальной. Основой такого подхода может служить теория полезности [3, 4]. Согласно этой теории предполагается, что существует некоторая обобщенная оценка ценности или полезности любого решения $x \in X$ для ЛПР. Количественной оценкой полезности служит функция полезности, выражение для которой можно выбрать в виде [3, 4]:

$$\xi_i(f_i) = \left(\frac{f_i - f_{inx}}{f_{инл} - f_{inx}} \right)^{\alpha_i} \quad (8)$$

Здесь f_i – текущее значение i -го локального критерия (вычисленного для элемента $x \in X$); f_{inx} , $f_{инл}$ – его наихудшее и наилучшее значения, соответствующие границам изменения критерия в рамках множества

допустимых решений X ; α_i – показатель степени, определяющий нелинейность функции полезности. Функция полезности (8) характеризует степень приближения к локальному оптимуму по критерию f_i .

Критерии $f_1(x)$, $f_2(x)$ в рассматриваемой задаче минимизируются, поэтому

$$\begin{aligned} f_{1nx} &= \max_{x \in X} f_1(x); & f_{1нл} &= \min_{x \in X} f_1(x); \\ f_{2nx} &= \max_{x \in X} f_2(x); & f_{2нл} &= \min_{x \in X} f_2(x). \end{aligned}$$

Используя алгоритм определения границ приближенной области компромиссов [3], получаем, что в нашем случае область компромиссов в пространстве значений критериев f_1 и f_2 будет ограничена величинами:

$$\begin{aligned} f_1: & [f_{1нл}, f_1(x^1)], \\ f_2: & [f_{2нл}, f_2(x^2)], \end{aligned} \quad (9)$$

где $x^1 = \arg \min_{x \in X} f_2(x)$; $x^2 = \arg \min_{x \in X} f_1(x)$.

Таким образом, элементы множества X , для которых значения критериев $f_1(x)$ и $f_2(x)$ лежат в границах интервалов (9), составят область компромиссов $K^p \in X$.

Выбор единственного решения x^0 из области компромиссов K^p связан с привлечением дополнительной информации, главным образом, о взаимной важности локальных критериев. В зависимости от имеющейся информации о важности ЛПР может принимать решения о выборе $x^0 \in K^p$ в одной из следующих ситуаций [4]:

1. Известны количественные значения весовых коэффициентов C_i локальных критериев f_i или их функция полезности $\xi_i(f_i)$. В этом случае следует стремиться к максимальной обобщенной полезности, что выражается соотношением:

$$P(F) = \max_{x \in K^p} \sum_{i=1}^2 C_i \xi_i(f_i(x));$$

$$C_1 + C_2 = 1;$$

$$x^0 = \arg \max_{x \in K^p} \sum_{i=1}^2 C_i \xi_i(f_i(x)).$$

2. Количественные значения коэффициентов C_i неизвестны, но ЛПР располагает информацией, позволяющей упорядочить локальные критерии по важности: $f_1(x) \succ f_2(x)$, либо $f_2(x) \succ f_1(x)$.

При этом для отыскания x^0 можно воспользоваться схемой оптимизации по последовательно применяемым критериям. Согласно этой схеме вначале проводится оптимизация по наиболее важному критерию на множестве K^p и выделяется множество оптимальных по этому критерию вариантов. Затем на этом множестве оптимизируется следующий по важности критерий.

3. ЛПР не располагает ни количественной, ни качественной информацией о взаимной важности критериев. Значит, нет оснований отдавать предпочтение какому-либо одному критерию. Как утверждается в [4], в этом случае наиболее оправдано применение схемы максимина:

$$x^0 = \arg \max_{x \in K^p} \min_i \sum_{i=1}^2 C_i \xi_i(f_i(x)).$$

Рассмотренные три ситуации информированности ЛПР о взаимной важности критериев при выборе компромиссного решения охватывают широкий круг случаев, возникающих в практике. Описанная модель выбора решения по множеству критериев может быть применена при формировании штриховых кодов с учетом приведенных выше условий. Рассмотрим схему ее применения. Вначале необходимо построить множество допустимых решений X . В него включаются наборы кодовых комбинаций длины L , кодирующие n символов первичного алфавита и удовлетворяющие заданным требованиям помехозащищенности, контролепригодности и др. Построение таких допустимых наборов представляет собой отдельную задачу, решение которой рассмотрено в [5].

Затем элементы построенного множества X оцениваются по двум выбранным критериям — стоимости и длине кодовых комбинаций. Согласно описанной выше схеме определяются границы приближенной области компромиссов K^p и формируются функции полезности локальных критериев вида (8). После этого в зависимости от информированности ЛПР о взаимной важности критериев выделяется одна из трех ситуаций и реализуется схема выбора компромиссного решения. В результате выбирается один из вариантов штрихового кода, эффективный в смысле выбранных критериев f_1 и f_2 и имеющей информации об их взаимной важности.

Применение описанной модели для выбора варианта технологического штрихового кода позволит учесть широкий спектр факторов, влияющих на различные стороны процессов нанесения, передачи и считывания кодируемой информации.

Литература: 1. *ДСТУ 3145-95*. Коды и кодирование информации. Штриховое кодирование. Общие требования. 2. *Березанский Р.Г., Голуб В.И.* Метод и технические средства автоматической идентификации почтовых отправок на основе применения штриховых кодов // *Почтовая связь. Распространение печати*. 1991. Вып.1. М.: ЦНТИ "Информсвязь". С. 75-78. 3. *Петров Э.Г.* Организационное управление городом и его подсистемами (методы и алгоритмы). Х.: Вища шк., 1986. 144 с. 4.

Овезгельдыев А.О., Петров К.Э. Адаптивная математическая модель многофакторного оценивания // *Кибернетика и системный анализ*. 1997. №3. С.90-97. 5. *Голуб В.И., Гребенник И.В., Кузьменко В.М.* Комбинаторный подход к построению технологических штриховых кодов минимальной длины // *Радиоэлектроника и информатика*, 1998, №3. С. 66-71.

Поступила в редколлегию 03.06.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Нефедов Л.И.

Голуб Владимир Иванович, директор инженерного центра УОПС "УКРПОЧТА". Научные интересы: автоматизированные системы в почтовой связи. Адрес: Украина, 252001, Киев-1, Крещатик, 22, тел. (044) 229-91-41, (044) 276-01-84.

Гребенник Игорь Валериевич, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. системотехники ХТУРЭ. Научные интересы: дискретная оптимизация. Адрес: Украина, 61726, Харьков, пр.Ленина, 14, тел. 40-93-06, 69-69-47.

Кузьменко Виктор Михайлович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры системотехники ХТУРЭ. Научные интересы: математическое и имитационное моделирование технологических процессов. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр.Ленина 14, тел. 40-93-06, 19-76-36.

УДК 539.23

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКО- ЧАСТОТНОГО ДИОДНОГО РАЗРЯДА В УСТРОЙСТВАХ ТРАВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУР

ФАРЕНИК В.И.

Приводятся результаты изучения характеристик высокочастотного разряда Е-типа в технологических реакторах плазмохимического травления. Определяются условия пробоя разряда для электродов из различных по электрофизическим характеристикам материалов. Измеряются зондовыми методами параметры технологической плазмы в трех режимах разряда. Проводится спектральная диагностика плазмы ВЧЕ-разряда. Показывается возможность скоростного травления кремния в оптимизированном по энергозатратам ПХТ-реакторе установок "Контур-01" и "Титан".

1. Введение

В [1] дан обзор результатов работ, касающихся применения высокочастотных разрядов диодного и индукционного типов при разработке устройств вакуумно-плазменного травления для технологических процессов микроэлектроники. Учитывая то, что в серийных технологиях создания топографического микрорисунка наибольшее применение в связи с относительной простотой конструкторской реализации нашли высокочастотные системы Е-типа, мы посчитали необходимым остановиться подробнее на физической картине ВЧЕ-разряда. Полагаем, что это будет полезным при оптимизации диодных систем травления.

Известно [2, 5-12], что высокочастотный емкостный газовый разряд может гореть в одной из двух заметно различающихся форм. В слаботочном режиме (α -разряд) проводимость приэлектродных слоев, отделяющих электроды от плазмы, мала. Основным источником заряженных частиц в α -режиме служит ионизация молекул газа в квазинейтральной плазме электронами, набравшими энергию в ВЧ поле в разрядном объеме. Ток между плазмой и электродами разрядной камеры замыкается преимущественно током смещения, при этом его плотность невелика. В сильноточном режиме (γ -разряд) проводимость приэлектродных слоев значительна, причем оба слоя ведут себя подобно катодному слою тлеющего разряда постоянного тока, а самоподдержание ионного тока на электрод обеспечивается за счет ион-электронной эмиссии и развития электронных лавин в слое. Слаботочная форма наблюдается при не слишком больших токах и ВЧ напряжениях на электродах, а сильноточная — при ВЧ напряжениях, превышающих некоторые критические величины. При средних давлениях ($p \sim 10$ Тор) ВЧ разряд переходит из α - в γ -режим скачкообразно [7, 9, 11, 13], при низких ($p \leq 0.1$ Тор) давлениях — непрерывно [6, 13, 14], в то время как при промежуточных давлениях ($p \sim 1$ Тор) и достаточно больших межэлектродных расстояниях ($L \geq 4-5$ см) с ростом ВЧ напряжения наблюдается последовательный переход ВЧ разряда из слаботочного α - γ в гибридный и затем в сильноточный режим горения [14]. Переход разряда из α - в γ -режим [6-23] сопровождается значительным увеличением (в несколько раз) разрядного тока и плотности плазмы. Вместе с тем, при переходе ВЧ разряда в инертных газах из слаботочного в сильноточный режим наблюдается область отрицательной дифференциальной проводимости [24, 25], т.е. с ростом ВЧ