

В. М. ЗАСЛАВСКИЙ

Украина, г. Одесса

Дата поступления в редакцию
04.09 1997 г.

Оппонент д. т. н. В. Ф. ГЕТМАНЕЦ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СУБЛИМАЦИОННОМ ОХЛАДИТЕЛЕ

Разработана математическая модель углекислотного сублимационного охладителя, позволяющая определить его оптимальные параметры при проектировании.

The mathematical model of carbonic acid, sublimation cooler, allowing to determine its optimum parameters at designing has been developed.

С развитием электронно-вычислительной техники и радиоэлектронной аппаратуры все чаще возникают задачи отвода больших тепловых нагрузок с точечных источников тепла. Одним из возможных путей решения этой проблемы является создание устройств, основанных на фазовых переходах «твердое тело — газ» и «жидкость — твердое тело». Известно [1, с. 80], что использование твердотельных хладагентов позволяет существенно понизить температуру объектов охлаждения по сравнению с традиционными жидкими хладагентами. Применение охлаждающих систем такого типа создает возможность длительного термостатирования объекта без дополнительных энергетических затрат.

Исследование охладителей, основанных на совмещении в объеме фазовых переходов различных типов, начаты сравнительно недавно [2]. В таких системах рабочее вещество может находиться в виде твердого тела, на границах которого протекают фазовые переходы при значительных перепадах температур и давлений.

По мнению авторов [1, с. 16 — 17], даже небольшие изменения температуры сублимирующей поверхности способны существенно повлиять на гидродинамическую обстановку в потоке паров с поверхности насыщенных паров. Отсюда авторы делают вывод о том, что именно гидродинамическая картина у поверхности сублимации является одним из основных факторов, которые влияют на количество тепла, подводимого в зону сублимации.

Изменения температуры, даже незначительные, приводят к существенному увеличению давления в

зоне сублимации. Это должно, в конечном счете, отразиться на характере расхода газа. Экспериментально установлено пульсационное его изменение при подводе тепла к блоку сублимирующей углекислоты. Результат оценок массового расхода газа при различных тепловых нагрузках в предположении, что на нижней границе блока протекают только фазовые переходы «твердое тело — газ», показывает заниженное на 35 — 40% его значение в сравнении с фактическим. При этом, как показал эксперимент, температура теплообменника нагрузки остается практически неизменной и колеблется на 0,1...0,2 К. Поэтому связывать пульсации расхода с гидродинамической картиной только у поверхности сублимирующего блока было бы неверно. Видимо, для выявления истинной картины процесса необходим более тщательный анализ. Предположение о том, что к сублимировавшему газу подмешивается газ, образовавшийся при прорывах жидкости сквозь поры блока к поверхности теплообменника нагрузки, может объяснить такие значительные расхождения. Однако для этого необходимо создание модели, которая учитывала бы совмещенные в объеме различные виды фазовых переходов и влияние тепловой нагрузки на геометрию блока.

В сублимационных охладителях за счет внешнего подвода тепла протекают "конкурирующие" процессы: фазовый переход «твердое тело — газ» на нижней поверхности углекислотного блока и «жидкость — твердое тело» — на верхней.

На нижней границе тепловая энергия сублимации, за вычетом подведенного тепла, идет на образование твердой фазы на верхней границе.

Эти особенности процессов в сублимационном охладителе приводят к «самоорганизации» в работе системы. Очевидно, что устойчивость ее работы, в первую очередь, будет определяться тепловым балансом в твердом блоке и на его границах. Обычно такие задачи решаются исключительно с использованием численных методов. Применение полиномиального разложения позволяет значительно повысить эффективность вычислений при достаточно высокой точности по интегральному тепловому балансу и свести погрешность метода до 7%.

Математическое описание особенностей процессов переноса для сублимационного охладителя может быть получено с использованием классической постановки Стефана для задачи с двумя свободными границами. Предположим, что блок состоит из двух полублоков, на границах которых процессы протекают независимо друг от друга. Такой подход позволяет получить представление об особенностях изменения объема всего блока, рассматривая движение двух свободных границ.

На нижней границе первого полублока:

$$-\lambda \frac{d}{dx} T_1 = r_c \frac{d}{d\tau} \delta_1 - q, \quad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности;
 x — текущая координата;
 T_1 — температура (принимая равной температуре сублимации T_c);
 r_c — теплота сублимации;
 δ — толщина;
 τ — время;
 q — количество подведенного тепла.

В первом полублоке:

$$\frac{d}{d\tau} T_1 = a \frac{d^2}{dx^2} T_1, \quad (2)$$

где a — коэффициент температуропроводности.

Условия сопряжения на границе полублоков:

$$T_1 = T_2; \quad (3)$$

$$\frac{d}{dx} T_1 = \frac{d}{dx} T_2. \quad (4)$$

Во втором полублоке:

$$\frac{d}{d\tau} T_2 = a \frac{d^2}{dx^2} T_2. \quad (5)$$

На верхней границе:

$$-\lambda \frac{d}{dx} T_2 = r_3 \frac{d}{d\tau} \delta_2, \quad (6)$$

где r_3 — удельная теплота затвердевания.
 T_2 принимаем равной температуре затвердевания T_3 .

Для решения задачи перейдем к системе координат, привязанной к блоку:

$$\xi_1 = 2 \frac{x - l_1}{l_2 - l_1}; \quad (7)$$

$$\xi_2 = 2 \frac{l_2 - x}{l_2 - l_1}, \quad (8)$$

где ξ — текущая координата;
 l_1, l_2 — определяющие размеры блока.

В новой системе координат задача примет следующий вид:

Зона сублимации ($\xi_1=0, T_1=T_c$):

$$-\lambda \frac{d}{d\xi_1} T_1 \cdot \frac{2}{l_2 - l_1} = r_c \frac{d}{d\tau} \delta_1 - q; \quad (9)$$

$$\frac{d}{d\tau} T_1 = \frac{4a}{(l_2 - l_1)^2} \cdot \frac{d^2}{d\xi_1^2} T_1 - \left(\frac{dT_1}{d\xi_1} \right) \cdot \left[2 \frac{dl_1}{d\tau} \cdot \frac{1}{l_2 - l_1} + 2 \cdot \frac{\xi_1}{l_2 - l_1} \left(\frac{dl_2}{d\tau} - \frac{dl_1}{d\tau} \right) \right]. \quad (10)$$

Зона замораживания ($\xi_2=0, T_2=T_3$):

$$\frac{dT_2}{d\tau} = \frac{4a}{(l_2 - l_1)^2} \cdot \frac{d^2}{d\xi_2^2} T_2 - \left(\frac{dT_2}{d\xi_2} \right) \cdot \left[-2 \frac{dl_2}{d\tau} \cdot \frac{1}{l_2 - l_1} + 2 \frac{\xi_2}{l_2 - l_1} \left(\frac{dl_2}{d\tau} - \frac{dl_1}{d\tau} \right) \right]; \quad (11)$$

$$\lambda \frac{d}{d\xi_2} T_2 \cdot \left(-\frac{2}{l_2 - l_1} \right) = r_3 \frac{d}{d\tau} \delta_2. \quad (12)$$

На границе соединения полублоков задача дополняется условиями сопряжения:

$$T_1 = T_2;$$

$$\lambda \frac{d}{d\xi_1} T_1 \cdot \frac{2}{l_2 - l_1} + \frac{2}{l_2 - l_1} \cdot \frac{d}{d\xi_2} T_2 = 0. \quad (13)$$

Будем полагать, что для каждого из полублоков решение представимо полиномами:

$$T_1 = [a_1(\xi_1)^2 + b_1\xi_1 + c_1]; \quad (14)$$

$$T_2 = [a_2(\xi_2)^2 + b_2\xi_2 + c_2]. \quad (15)$$

Удовлетворим коэффициентами полиномов краевые условия и усредненные уравнения энергии (10) и (11). Такой подход позволяет свести задачу к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для δ_1 и δ_2 :

$$\begin{cases} \frac{r_c}{\lambda} (l_2 - l_1) \frac{d^2}{d\tau^2} \delta_1 + 9f_1 - \frac{d}{d\tau} (l_2 - l_1) \left(\frac{q}{\lambda} - \frac{r_c d}{\lambda d\tau} \delta_1 \right) = 0; \\ \frac{r_3}{\lambda} (l_2 - l_1) \frac{d^2}{d\tau^2} \delta_2 - 9f_2 + \frac{d}{d\tau} (l_2 - l_1) \frac{r_3}{\lambda} \left(\frac{d\delta_2}{d\tau} \right) = 0, \end{cases} \quad (16)$$

$$\text{где } f_1 = 8 \cdot \left(T_{10} - \frac{5T_c + T_3}{6} \right) - \frac{q(l_2 - l_1)}{\lambda} - \frac{8}{3} \left(T_{20} - \frac{T_c + 5T_3}{6} \right) + \frac{q(l_2 - l_1)}{9\lambda};$$

$$f_2 = 8 \cdot \left(T_{20} - \frac{T_c + 5T_3}{6} \right) - \frac{q(l_2 - l_1)}{3\lambda} - \frac{8}{3} \left(T_{10} - \frac{5T_c + T_3}{6} \right) + \frac{q(l_2 - l_1)}{3\lambda}.$$

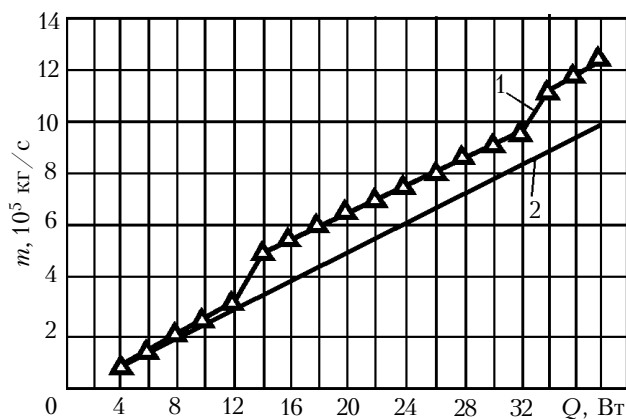
Начальные условия для системы уравнений (16) могут быть сформулированы в предположении задания начальных температур полублоков T_{10} и T_{20} , а также их толщины δ_{10} и δ_{20} :

$$-9 \frac{\lambda}{r_c (l_2 - l_1)} \left(T_{10} - \frac{1}{3} T_{20} - \frac{9}{7} T_c + \frac{1}{9} T_3 \right) + \frac{q}{r_c} = \frac{d}{d\tau} l_1; \quad (17)$$

$$-9 \frac{\lambda}{r_3 (l_2 - l_1)} \left(T_{20} - \frac{1}{3} T_{10} - \frac{7}{9} T_3 + \frac{1}{9} T_c \right) = \frac{d}{d\tau} l_2. \quad (18)$$

В рамках настоящей работы были проведены расчеты движения границ блока двуокиси углерода для геометрии и режимов, соответствующих

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ АППАРАТУРЫ



Зависимость массового расхода газа от тепловой нагрузки:

1 — эксперимент; 2 — расчет

условиям эксперимента. Описание стенда и некоторые результаты энергетических характе-

стик охладителя подробно описаны в работе [2]. Сравнительная характеристика расхода газа представлена на рисунке.

Таким образом, приведенная модель позволяет проводить анализ и расчет параметров процессов теплопереноса в сублимационном охладителе. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Это позволяет использовать модель для определения оптимальных размеров и режимных параметров систем при их проектировании.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Веркин Б. И., Гетманец В. Ф., Михальченко Р. С. Теплофизика низкотемпературного охлаждения. — Киев. : Наукова думка, 1980.

2. Рожнецв А. В., Заславский В. М. Контактный теплообмен при сублимации углекислоты на газопроницаемой металлической поверхности / Одес. гос. акад. холода. — Одесса, 1994. Деп. в ГНТБ Украины 13.12.94 г. № 2400 — Ук 94.

ДЕПОНИРОВАННЫЕ РУКОПИСИ

К. т. н. С. П. НОВОСЯДЛЫЙ

Дата поступления в редакцию
07.07 1997 г.

Украина, г. Ивано-Франковск

ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ*

Повышение степени интеграции БИС осуществляется за счет миниатюризации элементов, а следовательно, требует усовершенствования методов изоляции активных элементов. Изоляция элементов в МОП-БИС необходима для предотвращения образования «паразитных» каналов и снижения «паразитных» емкостей. Среди известных методов широкое распространение получила технология локального формирования полевого окисла «LOCOS». Однако ее использование становится проблематичным по мере миниатюризации элементов БИС.

Наиболее важной проблемой является вторжение части окисной пленки в виде «птичьего клюва» в активную область, что уменьшает размеры этой области и требует увеличения элемента. В свою очередь, горизонтальная диффузия ионов бора приводит к увеличению порогового напряжения и уменьшению порогового тока (эффект «узкого канала»), т. е. ухудшает электрофизические параметры.

* Реферат. Полный текст статьи (на украинском языке) находится в редакции и высылается по запросу.

Также существует проблема снижения электрической прочности подзатворного окисла из-за эффекта «белой полосы». Он заключается в том, что в процессе локального окисления в активных областях образуется нитридная пленка и формируется окисел меньшей толщины и низкой электрической прочности.

Исключить указанные эффекты позволила предлагаемая технология формирования поликремниевых спейсеров. Пленки поликремния и нитрида кремния формируются в едином цикле с высокой степенью равномерности. Пленка поликремния полностью блокирует диффузию аммиака, который является причиной «белой полосы» и возникновения термических напряжений.

Во избежание диффузии ионов В⁺ в охранной области имплантация бора была заменена на легирование ионами цезия, что обеспечило очень малый коэффициент диффузии из-за большого радиуса ионов цезия.

Разработанная технология позволяет формировать активные элементы БИС размерами менее 1 мкм.

ЧИТАТЕЛЬ ЗАИНТЕРЕСОВАЛСЯ

УТИЛИЗАЦИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОЛУЧЕНИЕМ ФУНГИЦИДА

(Публикация в «ТКЭА», 1997, № 2, с. 30.)

Россия, 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, 11 а, ЦКБ радиоматериалов.
Директор Лобанов Гертруд Викторович. Тел. (095) 362-05-66.