

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОРИСУНКА НА ПОДЛОЖКЕ С УЧЕТОМ ДВУХ ВНУТРЕННИХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

© 2012 г. Е. Н. ИВАШОВ, М. П. КНЯЗЕВА, Т.П. ГАМИЛОВА

Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ
e-mail: akmika@rambler.ru

Любой системе свойственна определенная совокупность термодинамических форм движения материи. Для дальнейшего важно, что все эти формы движения, определяющие внутренние степени свободы системы, органически связаны между собой.

Причина связи, существующей между некоторыми термодинамическими формами движения материи (внутренними степенями свободы систем), кроется в общности микрофизического механизма соответствующих форм движения и поэтому в макрофизической (феноменологической) термодинамике не рассматривается. Наличие такой связи принимается как опытный факт. [1]

Число связанных степеней свободы l , как и общее число степеней свободы m , зависит от конкретных свойств системы. С изменением условий, в которых находится система, величины l и m могут изменяться.

Наличие связей между внутренними степенями свободы позволяет аналитически отобразить состояние системы, так как каждая функция состояния однозначно определяется факторами экстенсивности Q (обобщенными зарядами). В соответствии с этим всегда можно составить такие уравнения, в которых аргументами будут служить факторы экстенсивности Q , а функциями – функции состояния. [1]

Если в уравнении фактор интенсивности φ (обобщенный потенциал) связан с факторами экстенсивности Q (обобщенными зарядами), то оно носит название уравнения состояния; если уравнением осуществляется связь между внутренней энергией и параметрами Q и φ , то оно именуется калорическим уравнением состояния.

Уравнение состояния для двух связанных внутренних степеней свободы ($m=2$) имеет вид

$$\begin{cases} \varphi_1 = f_1(q_1, q_2) \\ \varphi_2 = f_2(q_1, q_2) \end{cases}$$

или (в дифференциальной форме)

$$\begin{cases} d\varphi_1 = A_{11}dq_1 + A_{12}dq_2 \\ d\varphi_2 = A_{21}dq_1 + A_{22}dq_2 \end{cases}$$

где коэффициенты

$$\begin{aligned} A_{11} &= \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_1}\right)_{q_2}; A_{22} = \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_2}\right)_{q_1}; \\ A_{12} &= \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_2}\right)_{q_1}; A_{21} = \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_1}\right)_{q_2}. \end{aligned}$$

Например, в нашем случае уравнения состояния приобретают следующий конкретный вид

$$\begin{cases} v = f_1(U, \Phi) \\ p = f_2(T, n) \end{cases}$$

где v - скорость ионов аргона, Φ - световой поток, U - разность потенциалов, p - давление газа в вакууме, T - температура, n - концентрация.

Если разложить функции двух переменных φ_1 и φ_2 в ряд Маклорена и воспользоваться начальными слагаемыми ряда (первое грубое приближение), то будем иметь

$$\begin{cases} \varphi_1 = A_{11}q_1 + A_{12}q_2 \\ \varphi_2 = A_{21}q_1 + A_{22}q_2 \end{cases}$$

где A - постоянные коэффициенты (константы уравнения).

Величины A_{11} и A_{22} представляют собой основные константы уравнения состояния. Константа A_{11} выражает изменение первого фактора интенсивности φ_1 при изменении первого фактора экстенсивности q_1 и постоянном q_2 , константа A_{22} - изменение φ_2 под действием q_2 при постоянном q_1 . Получаем

$$A_{11} = \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_1}\right)_{q_2} \text{ и } A_{22} = \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_2}\right)_{q_1}.$$

Перекрестные коэффициенты A_{12} и A_{21} определяют количественную сторону взаимного слияния не сопряженных между собой величин q и φ - фактора q_2 на φ_1 при постоянном q_1 и фактора q_1 на φ_2 при постоянном q_2 . Имеем

$$A_{12} = \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_2}\right)_{q_1} \text{ и } A_{21} = \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_1}\right)_{q_2}.$$

Перекрестный коэффициент A_{12} численно равен приращению фактора φ_1 при изменении фактора q_2 на единицу и постоянном q_1 , коэффициент A_{21} - приращению φ_2 при изменении q_1 на единицу и постоянном q_2 .

Наблюдается симметрия во взаимном влиянии факторов интенсивности и экстенсивности. Она выражается в том, что перекрестные коэффициенты A_{12} и A_{21} между собой равны, т. е.

$$A_{12} = A_{21}.$$

Это равенство называется соотношением взаимности, оно есть следствие дифференциальных тождеств термодинамики.

На базе аналога [2] и прототипа [3] предложена схема устройства, в котором реализована данная модель.

Устройство формирования нанорисунка на подложке (Рис. 1) содержит катодно-анодную пару 1, установленную в герметизированном объеме 2, с возможностью подачи в пространство между анодом 3 и катодом 4 инертного газа, например аргона 5. Устройство дополнительно снабжено источником лазерного излучения 6 с возможностью взаимодействия с поверхностью 7 катода 4, для формирования электронного луча 8, и двумя парами управляющих конденсаторных пластин 9, 10, 11, 12, установленных между анодом 3 и катодом 4 взаимноперпендикулярно, с возможностью взаимодействия с электронным лучом 8.

Устройство формирования нанорисунка на подложке работает следующим образом.

Катод 4 является источником электронов и одновременно мишенью, распыляемой бомбардировкой положительными ионами аргона 5. При облучении катода 4 источником лазерного излучения 6 электроны движутся к аноду 3, встречают аргон 5 и ионизируют его. Ионы аргона 5 начинают движение в обратном направлении и выбивают материал катода 4, оставляя на нем наноборозды (нанорисунк).

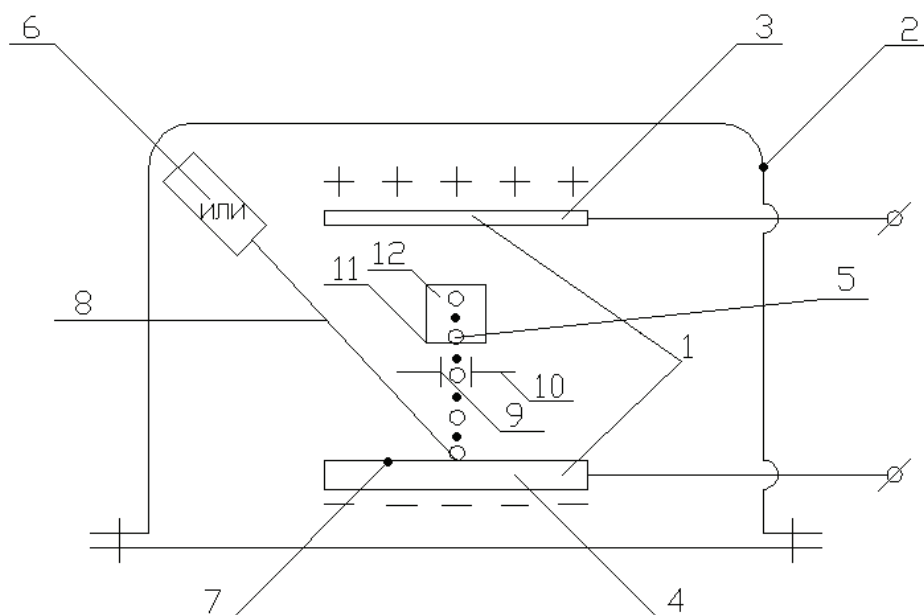


Рис. 1. Устройство формирования нанорисунка на подложке.

Применение в устройстве формирования нанорисунка на подложке дополнительного лазерного излучения и двух пар управляющих конденсаторных пластин позволяет сформировать и сфокусировать получившийся электронный и ионный лучи на подложке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейник А.И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. – М.: Металлургия, 1965. – 375 с.
2. Моряков О.С. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. // Элионная обработка В 10 кн. Кн 7 / Учеб. пособие для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1990. – 128 с., ил, с. 37.
3. Моряков О.С. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. // Элионная обработка В 10 кн. Кн 7/ Учеб. пособие для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1990. – 128 с., ил, с. 38.