

эта величина слабо зависит от ширины слоя $\Delta\mathcal{E}$, при больших N этой зависимостью можно пренебречь. В случае классич. механики можно перейти к пределу $\Delta\mathcal{E} \rightarrow 0$ и записать М. р. Г. в виде

$$f(p, q) = W^{-1}(\mathcal{E}, N, V) \delta(H(p, q) - \mathcal{E}),$$

$\delta(\mathcal{E})$ — дельта-функция Дирака. Статистич. вес связан с энтропией $S(\mathcal{E}, N, V)$ соотношением

$$W(\mathcal{E}, N, V) = \exp\{k^{-1}S(\mathcal{E}, N, V)\}.$$

В квантовой статистич. механике рассматривают ансамбль замкнутых, энергетически изолированных систем с объёмом V и числом частиц N , имеющих одинаковую энергию \mathcal{E} с точностью до $\Delta\mathcal{E}$. Величину $\Delta\mathcal{E}$ выбирают малой, но конечной, т. к. точная фиксация энергии в квантовой механике, в соответствии с *неопределённостей соотношением* между энергией и временем, потребовала бы бесконечного времени наблюдения. Предполагается, что для таких систем все квантовомеханич. состояния с энергией \mathcal{E}_k от \mathcal{E} до $\mathcal{E} + \Delta\mathcal{E}$ равновероятны, а вне этого слоя их вероятность равна нулю. Такое распределение вероятности w состояний системы:

$$w(\mathcal{E}_k) = \begin{cases} W^{-1}(\mathcal{E}, N, V) & \text{при } \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_k \leq \mathcal{E} + \Delta\mathcal{E}, \\ 0 & \text{вне этого слоя,} \end{cases}$$

наз. М. р. Г. для квантового статистич. ансамбля. Здесь $W(\mathcal{E}, N, V)$ — статистич. вес, равный числу квантовых состояний в слое $\Delta\mathcal{E}$ при фиксиров. \mathcal{E}, N, V ; он определяется из условия нормировки вероятности $\sum w(\mathcal{E}_k) = 1$. В квантовом случае также можно устремить $\Delta\mathcal{E}$ к нулю, такому М. р. Г. соответствует *статистический оператор* (матрица плотности)

$\rho = W^{-1} \delta(\hat{H} - \mathcal{E})$, где \hat{H} — гамильтониан системы.

М. р. Г. неудобно для практич. применений, т. к. для вычисления W нужно найти плотность распределения квантовых уровней для системы из большого числа частиц, что представляет собой сложную задачу. М. р. Г. важно для теоретич. исследований, т. к. из всех *Гиббса распределений* оно наиб. тесно связано с механикой. С помощью М. р. Г. доказывается *теорема Гиббса* о том, что малая подсистема большой системы, распределённой по М. р. Г., соответствует *каноническому распределению Гиббса*. Для конкретных задач удобнее рассматривать системы, находящиеся в тепловом контакте с окружающей средой, темп-ра к-рой постоянна (с термостатом), и применять канонич. распределение Гиббса или рассматривать системы, для к-рых возможен обмен энергией и частицами с термостатом, и использовать *большое каноническое распределение Гиббса*.

Лит. см. при ст. *Статистическая физика*. Д. Н. Зубарев.

МИКРОЛИТОГРАФИЯ — формирование микрорисунков на поверхности твёрдого тела. М. лежит в основе технологии *микроэлектроники*. Обычно М. включает: нанесение на поверхность твёрдого тела (подложку) тонкого слоя фоторезиста (материала, чувствительного к воздействию радиации); экспонирование отд. областей резиста соответственно заданному рисунку (фотошаблон) и проявление, т. е. удаление экспонированных (в позитивном процессе) или неэкспонированных (в негативном процессе) областей резиста. В результате формируется фоторезистивная плёночная маска, в «окнах» к-рой осуществляется технол. обработка поверхностного слоя подложки. Затем фоторезист обычно удаляется. Подобная процедура при изготовлении *интегральной схемы* повторяется, причём каждый последующий рисунок точно совмещается с предыдущим. Чередувание М. с др. операциями (травление, кристаллизация, напыление плёнок, легирование, окисление и т. д.) позволяет создавать твердотельные структуры со сложной геометрией.

Важный показатель М. — разрешающая способность — характеризуется мин. шириной линий рисунка

(проектной нормой). При возникновении М. (1958) проектная норма составляла 30—100 мкм, ко 2-й пол. 80-х гг. она достигла 1—2 мкм, а в эксперим. устройствах — 0,1 мкм. Формирование рисунка с шириной линий до 0,01—0,001 мкм (0,1—0,01 нм) наз. *нанолитографией*.

По характеру экспонирующего излучения выделяют фотолитографию, *рентгеновскую литографию*, электролитографию и ионолитографию. Для фотолитографии наиб. критична длина волны λ излучения. В случае контактной печати (фотошаблон накладывается непосредственно на слой фоторезиста) разрешающая способность $\Delta x \approx 2\lambda$. Недостаток контактной печати — быстрое накопление дефектов в шаблоне и формируемых структурах. При проекц. печати $\Delta x = 1,22\lambda F$, где $F = 1/(2A)$, A — апертура проекц. системы. Наиб. широко распространены дуговые ртутные лампы ($\lambda = 330$ —400 нм); для фотолитографии в глубокой УФ-области используют дефтериевые лампы ($\lambda = 200$ —260 нм). Методы голографич. М. позволяют упростить оптич. системы и исключить влияние дефектов шаблона и пылинок.

Рентгенолитография практически свободна от волновых ограничений разрешающей способности. Последняя в данном случае ограничивается в осн. эффектами полутени: $\Delta x = S(d/D)$, где S — ширина зазора между шаблоном и пластиной, d — диаметр источника излучения, D — расстояние от источника до шаблона. Для достижения субмикронного разрешения необходимы проекц. рентг. системы с $S \leq 10$ мкм; при этом неоднородности эфф. величины зазора приводят к флуктуациям геом. искажений рисунка. Рентг. шаблоны представляют собой сложные структуры на тонкой мембране, пронизываемой для рентг. излучения. Рисунок выполнен из металлич. плёнок, поглощающих рентг. излучение. Наиб. перспективно *синхротронное излучение* высокой интенсивности с малой расходимостью пучка, благодаря чему эффект полутени исключается.

При электролитографии используют либо параллельный поток электронов (проект. электролитография), либо пучок электронов, сканирующий пластину (сканирующая электролитография). Первый метод обладает более высокой производительностью, но требует сложных шаблонов и имеет ограниченную разрешающую способность. Второй позволяет достичь разрешения лучше 0,1 мкм (в экспериментах $\Delta x = 2$ нм) и формировать изображение без помощи шаблона путём прямого управления лучом с помощью ЭВМ. Разрешающая способность электролитографии определяется рассеянием электронов в резисте и их обратным рассеянием в результате отражения от подложки. Для уменьшения этих явлений применяют двухслойные резисты. Осн. проблема, препятствующая широкому внедрению электролитографии в массовое произ-во интегральных схем, — низкая производительность сканирующих систем. Поэтому обычно её применяют в сочетании с фотолитографией и рентгенолитографией. При этом электролитографию используют для формирования шаблонов и отдельных, наиб. ответственных рисунков на пластинах.

Ионолитография обладает свойствами сканирующей электролитографии, но эффект обратного рассеивания здесь выражен значительно слабее. Жидкометаллич. *ионные источники* создают плотные пучки. Сканирующие ионные системы используют для прямого формирования структуры интегральных схем без шаблонов. При этом ионный пучок, управляемый ЭВМ, осуществляет легирование полупроводника, вносит в него локальные радиац. повреждения, осуществляет травление подложки. Однако производительность в этом случае низкая.

Лит. см. при ст. *Микроэлектроника*, *Интегральная схема*. В. Ф. Дорфман.

МИКРОНАПРЯЖЕНИЯ — внутр. напряжения, существующие в кристаллах в отсутствие внеш. сил и уравновешенные в объёмах, малых по сравнению с