

$\alpha = 1 - k$ (k — коэф. отражения). В пренебрежении диффузией

$$N_n \approx n_S \bar{R}_{np}, \quad (7)$$

где $n_S = \alpha n_0 / S$ — концентрация примеси у поверхности в установившемся режиме. Ф-ла (7) получена в предположении постоянства ϵ_0 в процессе И. п. и равенства вероятностей распыления атомов матрицы и имплантированных частиц. Если $S < \alpha$, концентрация имплантированных атомов будет монотонно расти с увеличением дозы ионов.

Наиб. широко И. п. применяется для *легирования полупроводников* с целью создания $p-n$ -переходов, гетеропереходов, низкоомных контактов. И. п. позволяет вводить примеси при низкой темп-ре, в том числе примеси с малым коэф. диффузии, создавать пересыщенные твёрдые растворы. И. п. обеспечивает точную дозировку вводимой примеси, высокую чистоту (сепарация пучка ионов по массам), локальность, а также возможность управления процессом с помощью электр. и магн. полей. Для устранения образующихся при И. п. радиац. дефектов и перевода высвободившихся атомов в регулярные положения используют высокотемпературный прогрев. Для создания $p-n$ -переходов не требуется больших доз облучения. Так, при бомбардировке Si ионами P^+ с энергией $\epsilon_0 = 50$ кэВ, $\bar{R}_{np} = 60$ нм, $\Delta \bar{R}_{np} = 26$ нм, и уже при дозе 10^{15} см $^{-2}$ ср. концентрация примеси в имплантированном слое толщиной $4 \Delta \bar{R}_{np}$ достигает 10^{20} см $^{-3}$, т. е. практически предельной концентрации, используемой в технологии.

И. п. в металлы применяют с целью повышения их твёрдости, износоустойчивости, коррозионной стойкости, создания катализаторов, изменения коэф. трения и т. п. Для этого требуются дозы $\sim 10^{17} - 10^{18}$ ионов на см 2 , при к-рых уже заметно распыление поверхностного слоя. При больших дозах, когда концентрация внедрённой примеси сравнима с n_0 , возможно образование новых соединений (и о н ы й с и н т е з).

Ионная бомбардировка позволяет вводить примесь не только из пучка, но и из плёнки, предварительно нанесённой на поверхность мишени (имплантация атомов отдачи и ионное перемешивание).

Бомбардировка ионами с энергией 10—200 эВ, когда $S \ll 1$, а $\bar{R}_{np} \approx 0,1 - 1$ нм, сопровождается наращиванием имплантируемого материала. Плёнки, полученные ионным осаждением, имеют высокую плотность и хорошую адгезию к подложке.

Лит.: Мейер Дж., Эрикссон Л., Дэвис Дж., Ионное легирование полупроводников, пер. с англ., М., 1973; Зорин Е. И., Павлов П. В., Тетельбаум Д. И., Ионное легирование полупроводников, М., 1975; Ионная имплантация в полупроводники и другие материалы. Сб. ст., пер. с англ., под ред. В. С. Вавилова, М., 1980; Аброян И. А., Андронов А. Н., Титов А. И., Физические основы электронной и ионной технологии, М., 1984. И. А. Аброян.

ИОННАЯ СВЯЗЬ (электровалентная связь) — химическая связь, обусловленная переносом валентных электронов с одного атома на другой с образованием положит. и отрицат. ионов и эл.-статич. взаимодействием между ними. Характерна для соединений металлов с тицичными неметаллами, напр. для молекулы ионного кристалла NaCl.

В действительности чисто И. с. не существует, можно говорить лишь о степени ионности связи, о её ионном характере. Между сближающимися ионами противоположного знака действует не только электростатич. притяжение, но и обменное отталкивание (см. *Обменное взаимодействие*). Кроме того, при сближении ионов избыточный заряд отрицат. иона перемещается к положительному, что приводит к ослаблению эл.-статич. взаимодействия и к уменьшению полной энергии системы. Оценка степени ионности хим. связи в разл. молекулах и молекулярных кристаллах — одна из задач *квантовой химии*.

ИОННАЯ ТЕМПЕРАТУРА (T_i) — условный параметр, характеризующий ср. кинетич. энергию хаотич. движе-

ния ионов в плазме. Удобно применять его в тех случаях, когда ф-ция распределения ионов по скоростям близка к максвелловской. Значение T_i в плазме большей частью заметно отличается от электронной темп-ры T_e (подробнее см. *Температуры компонент плазмы*).

ИОННАЯ ЭМИССИЯ — испускание положит. и отрицат. ионов поверхностью конденсированной среды под воздействием к.-л. иницирующего возбуждения. Происходит в результате получения атомами или молекулами эмиттера энергии, достаточной для преодоления сил, удерживающих их на поверхности, и приобретения заряда. Нагревание материала и тепловое испарение его частиц обуславливают *термоионную эмиссию* (см. также *Поверхностная ионизация*). При этом испускаются только однократно заряженные ионы. Электр. поля напряжённостью $\sim 10^7$ В/см у поверхности вызывают т. и. полевую ионную эмиссию. При этом образуются однозарядные и многозарядные положит. ионы. Облучение материала фотонами или электронами может сопровождаться удалением частиц с поверхности, часть к-рых испускается в виде ионов (фотонно-ионная и *электронно-ионная эмиссия*). Бомбардировка поверхности ускоренными ионами или атомами приводит к выбиванию частиц из поверхностного слоя (см. *Ионно-ионная эмиссия, Распыление, Ионная бомбардировка*).

И. э. широко используется для создания *ионных источников*, а также для диагностики поверхности и приповерхностного слоя твёрдого тела.

Лит.: Зандберг Э. Я., Ионов Н. И., Поверхностная ионизация, М., 1969; Методы анализа поверхностей, пер. с англ., под ред. А. Зандерны, М., 1979. И. Н. Петров.

ИОННОЕ ТРАВЛЕНИЕ — удаление вещества с поверхности твёрдого тела под действием *ионной бомбардировки*. Процесс И. т. зависит от интенсивности пучка, вида, энергии и угла падения ионов, а также от материала и состояния мишени. В процессе И. т. вследствие распыления, дефектообразования, имплантации ионов и атомов отдачи меняются элементный состав и структура поверхности: происходит обогащение поверхности определ. элементом, кристаллизация или

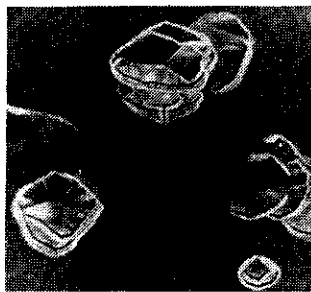


Рис. 1.

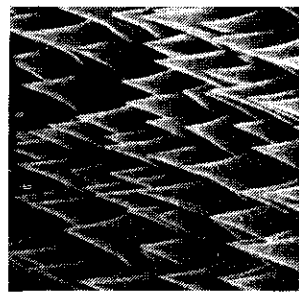


Рис. 2.

аморфизация поверхностного слоя. Изменение поверхностного рельефа при И. т. включает неск. стадий: 1) возникновение дефектов (*вакансий, межузельных атомов, дислокаций*); 2) появление микроскопич. неоднородностей размерами 10—100 нм [ямки травления, конич. или пирамидальные выступы (рис. 1,2) границы зёрен]; 3) образование неоднородностей макроскопич. размеров порядка долей мкм.

Скорость И. т. в единицах массы вещества, уносимого с единичной площадки, определяется соотношением:

$$v = \frac{MK}{NZe} j,$$

где M — ат. масса вещества мишени, K — коэф. распыления, N — число Авогадро, Ze — заряд иона, j —