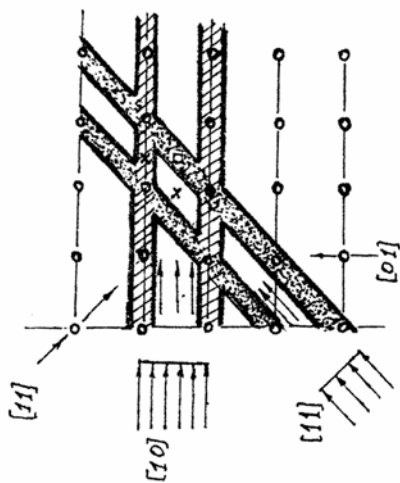


## 4. КАНАЛИРОВАНИЕ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ И АТОМОВ ОТДАЧИ

Способностью к каналированию в монокристаллах обладают не только заряженные частицы, нейтроны и гамма-кванты, но и укоренные до высоких энергий ионы (ионная бомбардировка, а также атомы отдачи, образующиеся при альфа-распаде или делении ядер).

Укоренные ионы, попав в твердое тело, замедляются путем упругих соударений с электронами и атомами мишени, и вызывают каскад смещений вокруг перемещения иона в материале. Замедление



	Доля тени		
	•	х	д
$\langle 10 \rangle$	1,0	0,5	0,0
$\langle 11 \rangle$	1,0	0,0	1,0

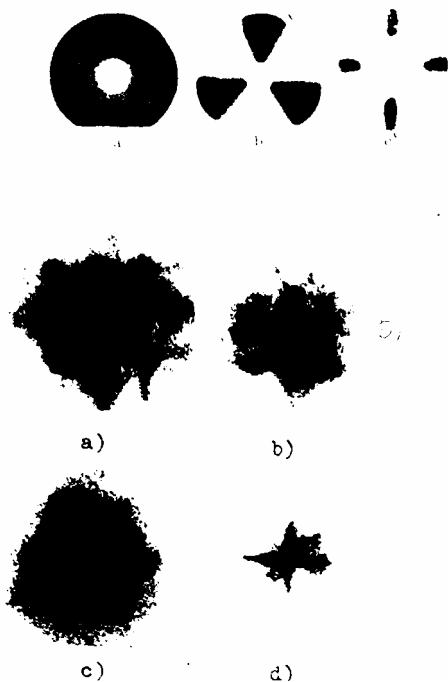
тяжелых ионов инертного газа в большой степени зависит от энергии, массы атомов мишени и температуры. В монокристаллах существенное влияние оказывает также ориентация кристаллографических осей относительно направления падающего пучка; ионов.

**Рис. 11.** Схема, иллюстрирующая возможность использования эффекта каналирования для локализации инородных атомов в кристалле.

Теория рассеяния высокоэнергетических ионов

удовлетворительно предсказывает пробеги тяжелых ионов в аморфных и поликристаллических твердых телах. В монокристаллах вдоль более открытых направлений между плотноупакованными рядами атомов происходит более глубокое проникновение бомбардирующих ионов (эффект каналирования).

Каналирование вызвано кулоновским отталкиванием, возникающим между упорядоченными рядами или плоскостями ядер в кристаллической мишени. Если пучок ионов направлен почти параллельно оси канала, образованного плоскостями кристаллической решетки (**Рис.11**), то при своем движении "горячие" частицы испытывают лишь скользящие слабые столкновения с ионами решетки (сильные лобовые столкновения практически исключены). В результате ионы проникают глубоко в решетку [56]. Например, пробег ионов  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  в кристаллическом вольфраме оказался на порядок больше, чем в аморфном.



**Рис. 12.** Авторадиография в исследовании процесса каналирования ионов (А и Б) и атомов отдачи (В).

А) Авторадиограмма, показывающая распределение  $^{85}\text{Kr}$ , введенного с энергией 5 кэВ  $\langle 111 \rangle$  поверхность кремниевой пластины.

а) АРТ после бомбардировки, б) АРТ после удаления 4 мг/см<sup>2</sup> кремния, в) Картина каналирования с поверхности  $\langle 100 \rangle$  KCl, полученная после внедрения  $^{85}\text{Kr}$  при 10 кэВ и удаления 90% активности с поверхности (растворением в н-бутаноле).

Б) АРТ, полученные при изучении проникновения  $^{220}\text{Rn}$ , образовавшегося из точечного источника  $^{224}\text{Ra}$  и внедренного в монокристаллы Si,  $\text{SiO}_2$ , KCl за счет энергии отдачи. Потемнения показывают направления и плоскости вдоль которых атомы отдачи за счет эффекта каналирования проникают глубоко внутрь кристалла.

а) (100) - Si, б) (111) - Si, в) поверхность кварца, перпендикулярная с-оси, г) (100)- поверхность KCl.

Эффект каналирования наглядно демонстрируется методом авторадиографии совместно с техникой снятия слоев. Этим способом удалось измерить полуширину пика каналирования при

проникновении  $^{85}\text{Kr}$  с энергией 5 кэВ в монокристаллы кремния и KCl. Каналированию подвергаются не только ионные пучки, но и  $\alpha$ -частицы, и атомы отдачи. Так,  $^{222}\text{Rn}$ , образующийся из точечного источника  $^{224}\text{Ra}$ , дает эффект каналирования в монокристаллах кремния: перпендикулярно поверхностям (100) и (111); кварца: перпендикулярно с-оси и KCl: перпендикулярно поверхности (100).