

лярных скоростей М. г. некую роль играют также звёздный ветер и расширение зон НН. На формирование крупномасштабной структуры М. г. (особенно, видимо, в неправильных галактиках) существенно оказывают неустойчивость Рэлея — Тейлора (см. *Неустойчивости плазмы*) газового диска галактики с замороженным магн. полем. Она собирает М. г. в «магнитных ямах» размером ок. 1 кпк.

Эволюция М. г. определяется гл. обр. обменом веществом со звёздами в процессе звездообразования и при сбросе части массы звёздами в М. г. на поздних этапах их эволюции (см. *Эволюция звёзд*), а также в виде звёздного ветра. За счёт термоядерной переработки вещества в звёздах М. г. обогащается тяжёлыми элементами, меняется его изотопный состав, причём с темпами, зависящими от скорости звездообразования. Это порождает, в частности, градиенты содержания элементов и изотопов вдоль радиусов спиральных галактик. Кол-во М. г. в галактиках в процессе круговорота вещества убывает с темпами, сильно различающимися в разных галактиках. Важную роль в поддержании кол-ва М. г. может играть взаимодействие с межгалактич. газом в *скользящих галактиках*: облака межгалактич. газа могут пополнять М. г., в свою очередь часть М. г. уходит в межгалактич. пространство. Давление межгалактич. газа может уплотнять М. г. и тем самым стимулировать звездообразование.

Лит. см. при ст. *Межзвёздная среда*. Н. Г. Бочкарёв.

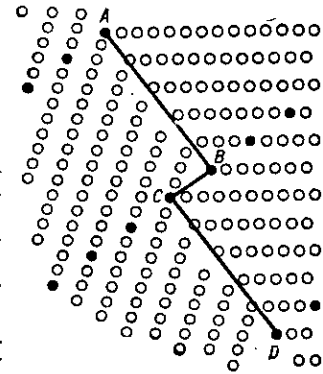
МЕЖЗЁРНЫЕ ГРАНИЦЫ — поверхность раздела между различно ориентированными областями (зёрнами) поликристалла. Многие физ. свойства зависят от числа и строения М. г. К ним относятся как свойства, связанные с переносом электронов, фононов, атомов и др. (электропроводность, теплопроводность, диффузия), к-рые рассеиваются на М. г., так и свойства, зависящие от взаимодействия между М. г. и *дислокациями* (механич. свойства), стенками магн. доменов (магн. жёсткость), вихрями в *сверхпроводниках* (критич. ток и поле в жёстких сверхпроводниках) и т. п. Как и внеш. поверхность, М. г. являются двумерными *дефектами*, вносящими возмущение в энергетич. спектр кристалла (см. *Поверхность*).

Вблизи М. г. большинство физ. процессов протекает иначе, чем в объёме зёрен: как правило, облегчены выделение новых фаз, зарождение и развитие трещин; М. г. являются «стоками» примесных атомов. При высоких темпах на М. г. происходит рождение и исчезновение *вакансий* и *межузельных атомов*. Высокотемпературная пластич. деформация происходит существенно легче на М. г., чем внутри зёрен: зёрна как бы проскальзывают одно по поверхности другого, что в нек-рых случаях облегчает развитие деформации в поликристаллах (*сверхпластичность*).

Свойства М. г. и приграничных областей определяются их атомно-кристаллич. строением, отличным от строения зёрен. Методы электронной и атомной микрофотографии (см. *Ионный проектор*), *ожеспектроскопии* и др., а также теоретич. исследования (включающие моделирование на ЭВМ) позволили выяснить, что вблизи М. г. атомы смещаются из узлов кристаллич. решётки и образуют *собств. периодич.* (или почти периодич.) структуру, характерную для данной М. г. Смещения атомов могут приводить к возникновению внутр. напряжений в объёме зёрен, к-рые играют значит. роль при образовании *гетерофазных структур*. Однако, если размеры зёрен достаточно велики, возникновение упругих напряжений энергетически невыгодно и М. г. имеют равновесную структуру, не приводящую к появлению дальнедействующих упругих полей. Именно такие М. г. обычно встречаются в поликристаллах.

Геометрически плоская граница двух зёрен определяется 8 параметрами: осью и углом взаимного поворота зёрен (3 параметра), вектором относит. смещения зёрна как целого (3 параметра) и единичным вектором

нормали к плоскости границы (2 параметра). Для каждой М. г. существует равновесное расположение атомов в приграничной зоне, определяющее все характеристики М. г., в частности её поверхностную энергию. Минимуму поверхностной энергии обычно соответствуют периодич. структуры с малыми периодами. При их описании пользуются т. н. концепцией совпадающих узлов: контакт зёрен рассматривается как область взаимного проникновения их решёток и плотность совпадающих узлов решёток принимается за характеристику М. г. Как правило, низкоэнергетич. М. г. характеризуются высокой плотностью совпадающих узлов. Границы, близкие по структуре к низкоэнергетич. М. г., описываются с помощью дополнит. введения в структуру границы особых зернограничных дислокаций (рис.). Эксперимент подтверждает присутствие и движение в М. г. зернограничных дислокаций. С др. стороны, анализ построенных с помощью ЭВМ атомных моделей разл. М. г. позволил выявить в их структуре характерные атомные группы — *многограники* и *Бернала*, обычно используемые для описания строения *жидкости*. Оба подхода к рассмотре-



Двумерная модель поликристалла; AB, BC, CD — зернограничные дислокации.

нию структуры М. г. — дислокационный и как системы многогранников — хорошо согласуются.

Всё сказанное можно отнести к *межфазным границам* гетерофазных структур. Межфазные границы вследствие их большего разнообразия изучены менее систематично, чем М. г. Наиб. исследованы границы, разделяющие эпитаксиально растущую фазу и кристаллич. подложку. Структура таких границ представляет собой чередование участков бездефектного упругого сопряжения решёток и дислокаций несоответствия, компенсирующих разность параметров решёток эпитаксиальной фазы и фазы-подложки (см. *Эпитаксия*).

Важной характеристикой границ является их подвижность, определяющая кинетику рекристаллизации и фазовых превращений в гетерофазных структурах.

Лит.: Глейтер Г., Чалмерс Б., Большеуговле границы зёрен, пер. с англ., М., 1975; Структура межкуристаллических и межфазных границ, М., 1980; Орлов А. Н., Петров В. Н., Рыбин В. В., Границы зёрен в металлах, М., 1980.

МЕЖЗОННОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ (зигеровский пробой) — туннелирование электронов из валентной зоны диэлектрика или полупроводника в зону проводимости через запрещённую зону под действием электрич. поля (см. *Туннельный эффект*). М. т. можно рассматривать как рождение пары электрон — дырка в электрич. поле (подобно рождению электрон-позитронной пары в вакууме в сильном поле). Впервые на возможность М. т. указал К. М. Зинер (С. М. Zener), к-рый высказал предположение, что М. т. ответственно за пробой *диэлектриков* в сильном электрич. поле и *автотоннельную эмиссию* с поверхности диэлектриков. Экспериментально М. т. впервые наблюдал Л. Эсаки (L. Esaki) при прямых смещениях на полупроводниковых диодах, отличающихся сильным легированием *p*- и *n*-областей (см. *Туннельный диод*). Количеств. теория М. т. впервые развита в работах У. В. Хаустона (W. V. Houston) и Л. В. Келдыша. Вероятность М. т. (прозрачность потенц. барьера *D*) существенно зависит от структуры энергетич. зон. Для простых изот-