

НИТЕВИДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Авторы: И. Л. Светлов

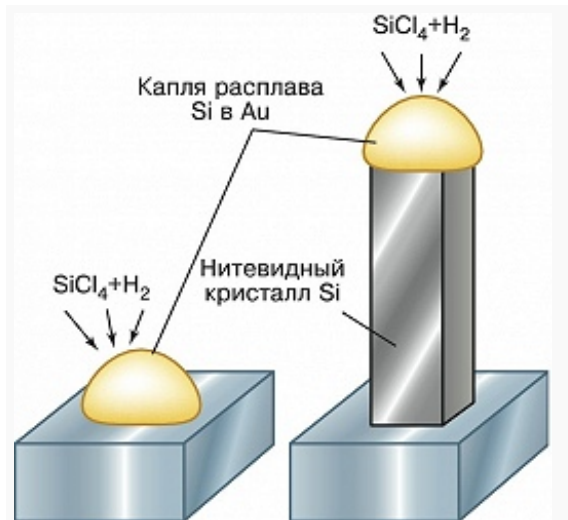


Рис. 1. Схема роста нитевидного кристалла Si по ПЖК-методу (подложка – голубая).

НИТЕВИДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ, монокристаллы в виде игл и волокон диаметром от нескольких нм до сотен мкм и большим отношением длины к диаметру (обычно 100–1000); другое назв. «усы», или «вискерсы» (от англ. whiskers). Типичные размеры Н. к.: длина от 0,5 мм до нескольких мм, диаметр 0,5–50 мкм. Форма поперечного сечения (треугольная, шестиугольная, квадратная, прямоугольная) зависит от типа кристаллич. ячейки и ориентации оси роста Н. к. Сильно анизотропная форма Н. к. является следствием либо специфич. механизмов и кинетики их

образования (роста), либо сильной анизотропии внутр. структуры материала. Н. к. обладают рядом уникальных физич. и механич. свойств, в частности исключительно высокой, приближающейся к теоретической, механич. прочностью, превышающей прочность массивных монокристаллов в 100–1000 раз. В них проявляется размерный эффект: прочность Н. к. резко возрастает при уменьшении их диаметра. Это связано с тем, что при малых диаметрах Н. к. практически не содержат дислокаций и имеют весьма совершенную поверхность. По этой же причине они обладают особыми тепловыми, электрич. и магнитными свойствами. Напр., у Н. к. более высокие теплопроводность и электропроводность (благодаря слабому рассеянию носителей заряда на дефектах и поверхностях), чем у обычных монокристаллов; коэрцитивная сила тонких ферромагнитных Н. к. также значительно выше: для Fe она достигает 40 кА/м. Ферромагнитные и сегнетоэлектрич. Н. к., как правило, представляют собой

монодомены.

Н. к. имеют важное значение для науки о материалах в двух аспектах: научном – как первый объект, на котором опытным путём доказана справедливость теоретич. расчётов прочности идеальной кристаллич. решётки, и практическом – для создания новых металлич. и полимерных композиц. материалов с использованием Н. к. для армирования (напр., непрерывные волокна бора, углерода, карбида кремния).

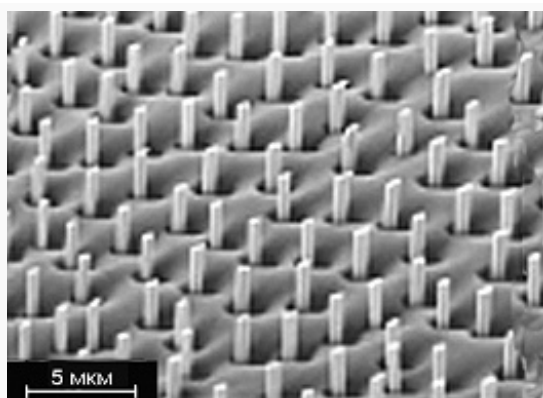


Рис. 2. Микроструктура in situ эвтектического композита на основе интерметаллида NiAl, упрочнённого нитевидными кристаллами Re.

Различают Н. к. природного и искусств. происхождения. Природные Н. к. формируются на Земле много тысячелетий, упоминания о них в науч. лит-ре относятся к 16 в. Известны самородные волокнистые кристаллы Au, Ag, Cu, Sn, Pb, S, разл. оксидов и силикатов. Часто природные Н. к. встречаются в виде включений внутри др. минералов (напр., иглы рутила в природных кристаллах рубина, кварца).

Для получения искусств. Н. к. разработаны разл. методы: физич. испарение с последующей конденсацией, химич. осаждение из газовой

фазы, кристаллизация из растворов, направленная кристаллизация эвтектич. сплавов, выращивание на пористых мембранах и др. Н. к. тугоплавких металлов и их соединений обычно получают методом осаждения из газовой фазы в высокотемпературных печах периодич., полунепрерывного или непрерывного действия. Рост Н. к. кремния из газовой фазы осуществляется путём конденсации паров либо вследствие реакций разложения летучих веществ (хлоридов, силанов и др.). Напр., их выращивают по реакции $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 4\text{HCl}$, как правило, по схеме пар–жидкость–кристалл (ПЖК-метод). По этому механизму Н. к. растут на тех участках к.-л. подложки, на которой есть растворитель. Капля расплава Si, напр., в Au находится на подложке и играет роль катализатора роста: реакция протекает преим. на поверхности капли расплава, создавая в ней необходимое пересыщение. Атомы Si, диффундируя сквозь каплю, осаждаются на границе жидкость–кристалл, при этом

капля всё время остаётся на вершине Н. к., почти не изменяясь в размерах (рис. 1).

Наивысшей удельной прочностью обладают Н. к. оксидов, карбидов, боридов, нитридов (напр., Al_2O_3 , B_4C , SiC , AlN , Si_3N_4). Они тугоплавки, имеют высокий модуль упругости, малую плотность, инертны в разл. химич. средах. Однако технология ориентации Н. к. (дискретных «усов») оказалась довольно сложной и малорентабельной, по этой причине отказались от их использования в качестве армирующих наполнителей при создании искусств. композиц. материалов.

Н. к. нашли применение в т. н. естеств. *in situ* композитах – эвтектиках с направленной структурой, которые армируются в направленном тепловом поле в процессе эвтектич. реакции (в соответствии с диаграммой состояния), напр. в *in situ* эвтектич. композите на основе интерметаллида NiAl (матрица), упрочнённого Н. к. рения (рис. 2).

Недостатком таких композитов является слишком низкая скорость кристаллизации с плоским фронтом роста, обеспечивающим направленную ориентацию нитевидных кристаллов.

Н. к. применяют при изготовлении разл. датчиков (миниатюрные термометры, тензодатчики, датчики Холла и др.), автоэмиссионных катодов, а также для получения мембранных фильтрующих элементов, теплозащитных материалов, носителей для катализаторов. Важное направление использования Н. к. – создание тканевых электродных материалов нового поколения для вторичных источников тока.

Литература

Лит.: Бережкова Г. В. Нитевидные кристаллы. М., 1969; Гиваргизов Е. И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара. М., 1977; Светлов И. Л., Епишин А. И., Пирогов Е. Н. Влияние остаточных напряжений на ползучесть эвтектических композитов // Механика композитных материалов. 1985. № 4; Сыркин В. Г. Материалы будущего. О нитевидных кристаллах металлов. М., 1990; Frommeyer G., Rablbauer R. High temperature materials based on the intermetallic compound NiAl reinforced by refractory metals for advanced energy conversion technologies // Steel Research International. 2008. № 7.