

КВАЗИКРИСТАЛЛЫ КАК НОВЫЙ КЛАСС ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Осипова Е. Ю.

Забелина И. А. – канд. техн. наук, доцент
Павлюковец С. А. – ассистент кафедры химии

Открытие квазикристаллов перевернуло сложившиеся представления о кристаллическом состоянии вещества. В-первых, пришлось отказаться от взглядов, что периодичность структуры и дальний атомный порядок – синонимы. Во-вторых, был открыт новый класс твердых тел с неизвестной ранее структурой и необычными свойствами.

В апреле 1982 года сотрудник Израильского технологического института (Технион) Даниэль Шехтман, исследуя в просвечивающем электронном микроскопе сплавы алюминия с марганцем, обнаружил необычные

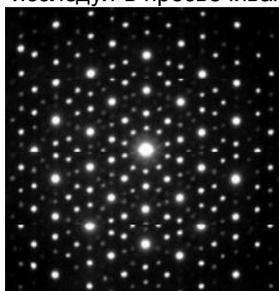


Рис. 1 – Дифракционная картина квазикристалла

для твердого тела картины дифракции электронов (рис. 1). Образец сплава $Al_{0,86}Mn_{0,14}$, полученного быстрым охлаждением, рассеивал пучок электронов так, что образовывались дифракционные картины с резкими пятнами. Чёткость дифракционной картины была характерна для кристаллов и отражала дальний атомный порядок [1]. Расположение пятен указывало на *икосаэдрическую* (т. е. с осями 5-го порядка) *симметрию* ориентации атомов в структуре сплава (рис. 2). Это противоречило фундаментальным представлениям классической кристаллографии [2].

Дальнейшие исследования показали, что в сплаве $Al_{0,86}Mn_{0,14}$ реализуется так называемый *аперiodический дальний атомный порядок*, и такие сплавы получили название *квазикристаллов*.

Квазикристалл – (от лат. quasi – нечто вроде, как будто и кристалл), особый тип упаковки атомов в твердом теле, характеризующийся икосаэдрической симметрией, дальним ориентационным порядком и отсутствием трансляционной симметрии.

рии, присущей обычному кристаллическому состоянию [3].

В двумерном случае удобной моделью квазикристалла является *паркет (мозаика) Пенроуза* (рис. 3). В паркете Пенроуза, чтобы замостить всю плоскость без зазоров и перекрытий, требуются две различные фигуры – два ромба. Внутренние углы тонкого (синего) ромба равны 36° и 144° , а толстого (серого) – 72° и 108° [4, 5].

Икосаэдрические кристаллы – это, как правило, сплавы металлических элементов. Но их физические свойства отличаются от свойств типичных металлов и сплавов. При этом квазикристаллы не изоляторы и не полупроводники. Большинство квазикристаллических сплавов – диамагнетики, однако сплавы с марганцем – парамагнетики. Электросопротивление многих квазикристаллов уменьшается при возрастании температуры, концентрации примесей, структурных дефектов, а у металлов увеличивается. Интересная закономерность наблюдается у *декагональных квазикристаллов*. Это анизотропные твёрдые тела, в которых вдоль оси десятого порядка электросопротивление ведёт себя как в нормальном металле, а вдоль направлений, лежащих в квазикристаллической плоскости, – как в икосаэдрических кристаллах. В видимой и инфракрасной областях спектра коэффициент отражения света у квазикристаллов меньше, чем у типичных металлов. Квазикристаллы обладают очень низкой теплопроводностью, сравнимой с теплопроводностью стекла, которая при температурах выше комнатной, в отличие от теплопроводности типичных металлов, заметно растёт с увеличением температуры. Поверхностное натяжение у них низкое и сравнимо с поверхностным натяжением тефлона. Квазикристаллы обладают также низким коэффициентом трения. Они хрупки и малопластичны, поскольку подвижность дислокаций, то есть дефектов структуры, определяющих пластичность твёрдых тел, в них очень мала.

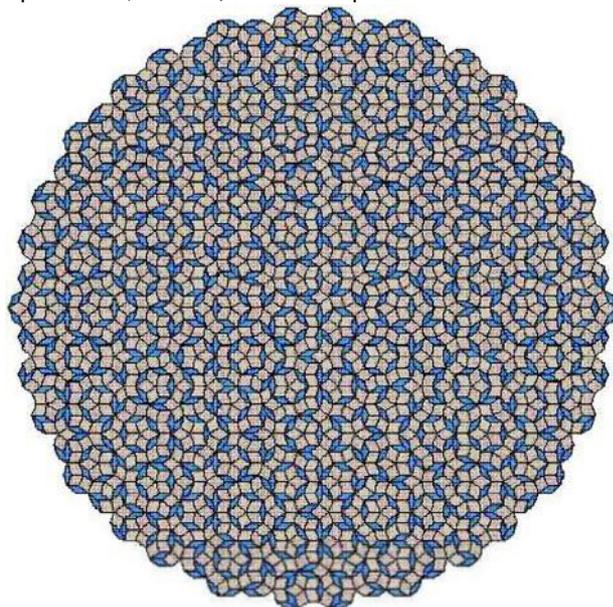


Рис. 3 – Мозаика Пенроуза

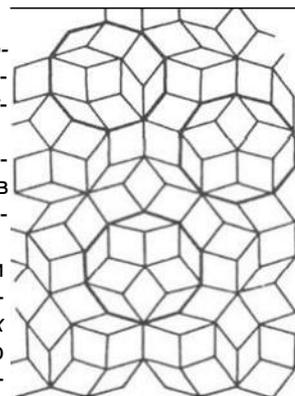


Рис. 2 – Ось 5-го порядка кристалла

Применение квазикристаллов (таблица) в значительной мере связано с необычным сочетанием высокой твёрдости, износостойкости и коррозионной стойкости с низкими теплопроводностью, смачиваемостью и коэффициентом трения. Чтобы обойти ограничения, связанные с высокой хрупкостью и низкой деформируемостью при комнатной температуре, квазикристаллические фазы применяют в качестве покрытий, включений в двухфазных материалах или наполнителей в композитных материалах с целью улучшения их механических свойств. К перспективным областям применений квазикристаллов можно отнести водородную энергетику, катализ и преобразование солнечной энергии.

В последнее время всё большее внимание уделяют *фотонным квазикристаллам*, то есть искусственно созданным гетероструктурам – аперидическим аналогам периодических фотонных кристаллов – прозрачных объектов с периодически модулированным показателем преломления. В спектре электромаг-

риалах с целью улучшения их механических свойств. К перспективным областям применений квазикристаллов можно отнести водородную энергетику, катализ и преобразование солнечной энергии.

В последнее время всё большее внимание уделяют *фотонным квазикристаллам*, то есть искусственно созданным гетероструктурам – аперидическим аналогам периодических фотонных кристаллов – прозрачных объектов с периодически модулированным показателем преломления. В спектре электромаг-

Таблица – Область применения квазикристаллов (КК)

Применение	Свойства	КК сплавы
Аккумуляция водорода	Высокая адсорбирующая способность к водороду	КК на основе Ti
Термические барьеры (авиационные турбины и турбины электрогенераторов, дизели, автомобильная индустрия)	Низкая теплопроводность	Al-Co-Cr-Fe, Al-Cu-Fe
Селективные поглотители света	Селективное поглощение света	Al-Cu-Fe, Al-Cu-Fe-Cr
Непригорающие покрытия для химических реакторов, кухонной посуды (сковородок, кастрюль), и др.	Сопротивление коррозии, высокая твердость, низкая поверхностная энергия (прилипание)	Al-Cu-Fe-Cr
Покрытия для инструмента	Сопротивление износу, низкий коэффициент трения	Al-B-Cu-Fe, Al-Pd-Mn
Катализаторы (как ультрадисперсные частицы) для окисления метаном	Каталитическая активность	Al-Pd, Al-Pd-B, Al-Pd-Fe, Al-Pd-Mn, Al-Pd-Cr, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Co, Al-Pd-Co
Упрочнение мягких металлических сплавов для хирургических инструментов, медицинских протезов и т.п.	Твердость и механические свойства	Al-Cu-Cr, мартенситно-старяющие стали
Дисперсно-упрочняющие частицы в алюминиевых сплавах и сталях	Твердость и высокие механические свойства при повышенных температурах	Системы на основе Al-Fe-Cr

нитного излучения, распространяющегося в таких структурах, возникает интервал частот, в котором существенно понижается прозрачность. Этот интервал частот называется запрещённой зоной. В периодически модулированных структурах запрещённая зона зависит от направления распространения и поляризации электромагнитной волны, что ограничивает возможности применения таких структур. В квазикристаллах вследствие высокой симметрии и аperiodического дальнего порядка запрещённая зона становится изотропной, и понижение прозрачности практически не зависит от направления распространения электромагнитной волны. Такие структуры уже находят применение в фотонике [6, 7].

Сегодня известно уже большое число квазикристаллических сплавов, свойства которых активно исследуются. Эти материалы интересны не только с практической точки зрения – их изучение расширяет наши представления о строении вещества.

Список использованных источников:

1. Векилов, Ю. Х. Признание квазикристаллов / Ю. Х. Векилов // Наука и жизнь. – 2012. – № 1. – С. 12-18.
2. Маккей, А. Л. Структурные исследования кристаллов / А. Л. Маккей // Кристаллография. – 1981. – Т. 26, № 5. – С. 910-919.
3. Векилов, Ю. Х. Квазикристаллы / Ю. Х. Векилов, М. А. Черников // УФН. – 2010. – Т. 180. – С. 561-586.
4. Нельсон, Д. Р. Квазикристаллы. Мозаика Пенроуза / Д. Р. Нельсон // В мире науки. – 1986. – № 10. – С. 19-28.
5. Корепин, В. В. Узоры Пенроуза и квазикристаллы / В. В. Корепин // Квант. – 1987. – № 6. – С. 2-6.
6. Стивенс, П. В. Структура квазикристаллов / П. В. Стивенс, А. И. Гоулдман // В мире науки. – 1991. – № 6. – С. 14-21.
7. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / Г. М. Заславский [и др.]. – М.: Наука, 1991. – 235 с.