

ПАТТЕРНЫ В СИСТЕМАХ $A_2^V B_3^{VI}$ <ПРИМЕСЬ>

Рамазанов М.А.¹, Алескеров Ф.К.², Кахраманов К.Ш.²,
Набиева С.А.²

¹Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

²НПО «Селен» НАНА, Баку, Азербайджан

E-mail: kamil.qahramanov@yahoo.com

Представлены результаты исследований трехмерных нанобъектов в кристаллах Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 , подобные структурам «пчелиных сот» и шестигранным фигурам. Исследована природа выявленных твердотельных паттернов. Определена их классификация, связанная с локализованным пространственным упорядочением, устойчиво существующим в консервативных диссипативных неравновесных средах.

В настоящее время усилия большого числа исследователей в самых различных областях естествознания направлены на изучение феноменов самоорганизации, которые позволяют объяснить самые различные явления, наблюдающиеся в окружающем нас мире и в кристаллах [1 -2]:

Говоря о структуре материалов, следует иметь в виду ее различные уровни, начиная от строения элементарной ячейки и завершая структурой со свойственными ей поверхностными и объемными дефектами.

Вопросы самоорганизации и образования структур – паттернов в кристаллических телах связаны с понятиями диссипации, ассоциирующиеся с затуханием различного рода движений, с рассеянием энергии, с потерей информации. Вместе с тем диссипация необходима для формирования паттернов в открытых системах [2]. Паттерн обозначает закономерную регулярность, повторяющийся шаблон, образец, структуру. Элементы паттерна предсказуемо повторяются.

Гексагональная структура слоистых систем (Bi_2Te_3 и графита) состоит из плотноупакованных плоскостей, которые взаимодействуют между собой с помощью ван-дер-ваальсовых сил. В зависимости от концентрации внедренные примеси могут локализоваться как в межслоевом пространстве, так и проникать внутрь кристаллических слоев. Преобладающим видом дефектов в исследованных монокристаллах $A_2^V B_3^{VI}$ являются расположенные в базисной плоскости (0001) дислокации. Установлено наличие как гексагональных сеток дислокаций, так и параллельных рядов. Возможные протекающие реакции при образовании гексагональных сеток аналогичны реакциям в $A_2^V B_3^{VI}$.

Разбиение без каких-либо накладок и без пробелов (замощение) происходит в процессе формирования пчелиных сот, где шестигульный паттерн многократно дублируется, заполняя всё пространство улья.

Был проведен анализ твердотельных консервативных диссипативных паттернов в наноструктурированных кристаллах $A_2^V B_3^{VI}$ и выявлены подобные природные объекты-паттерны.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Электронно-микроскопические изображения получали на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ) марки Solver Next. Ячейки Бенара в среде $Te^{(I)}$ - $Te^{(II)}$ $A_2^V B_3^{VI}$ в процессе формирования теллуридных квинтетов возникают при градиенте температуры поперек базовой плоскости (0001) Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3).

Экспериментальные результаты представлены на рис.1-4. На рис.1. показана шестигранная форма «пчелиных сот»; полученное нами АСМ-изображение поверхности (0001) Sb_2Te_3 яркое свидетельство того, что эти объекты близки по форме.

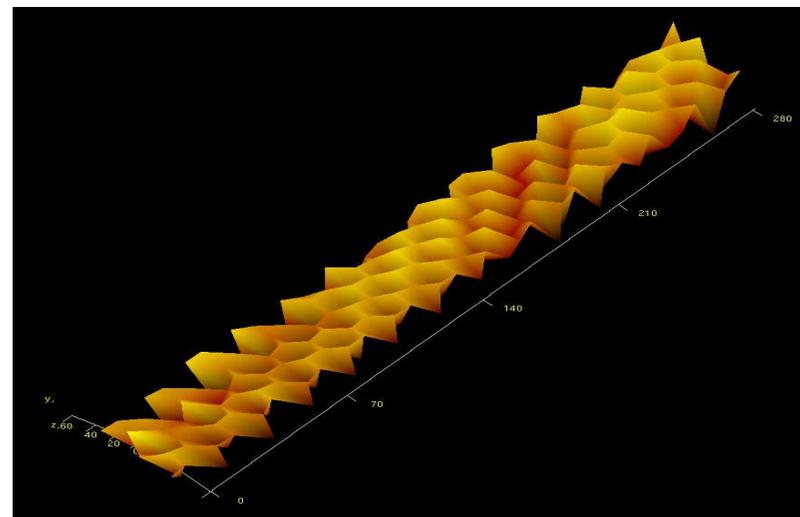


Рис.1. Фотографии подобные «пчелиным сотам» в 3D масштабе на ван-дер-ваальсовой поверхности Sb_2Te_3 .

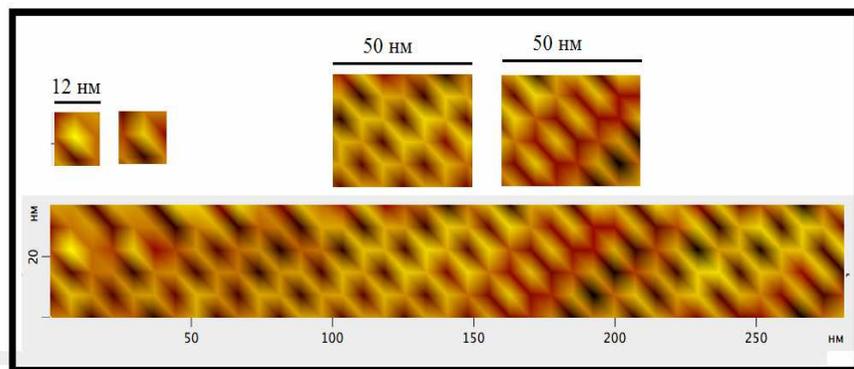


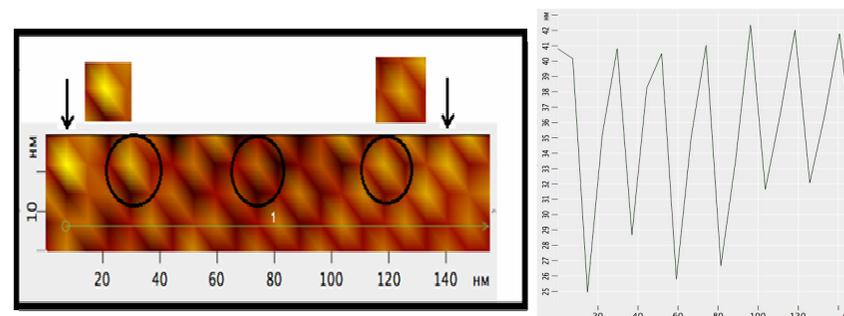
Рис.2. АСМ-изображение в 2D масштабе нанобъектов подобных «пчелиным сотам» в Sb_2Te_3 ; в вставке сверху слева даны фрагменты изображений «ячеек Бенара»; в середине наверху выделены 2D-изображения шестигранников; справа наверху выделены скопления наноструктур подобных «ячейкам Бенара».

Эти ячейки разбиваются на шестиугольные призмы, ограниченные с одной стороны шестиугольником (вход в ячейку), с другой – тремя ромбами под определенным углом (дно) (рис.1.). Каждая пара таких слоев составляет соты. Такую же морфологию (вход в ячейку) шестиугольников имеют и дефектные нанобъекты в Sb_2Te_3 . Данные дефекты играют важную роль при изучении электрических свойств $A_2^V B_3^{VI}$ и при анализе процессов агрегации фрактальных структур.

На рис.2. представлены АСМ изображения в 2-Д масштабе поверхности (0001) Sb_2Te_3 : наверху слева; справа выделены наноструктуры, аналогичные ячейке Бенара: их размеры колеблются в пределах 10-12нм. В середине во вставке сверху выделены шестиугольные (~50нм) сетки; они имеют структуру, близкую к структуре графита; нами рассмотрен уровень масштабности шестиугольных структур: шестиугольник гексагональное явление на Сатурне; пчелиные соты; дислокационные сетки структуры, подобные ячейкам Бенара; гексагональная идеальная кристаллическая структура графена;

На рис.3. даны АСМ- изображения в 2Д- масштабе ячеек Бенара на поверхности (0001) Sb_2Te_3 с профилограммой. Из профилограммы (вдоль линии 1 рис.3,а), представленной на рис.3,б видно, что высота межслоевых ячеек Бенара колеблется в пределах (15-17) нм, ширина имеет размеры порядка 15 нм. Эти структуры упорядочены и сформированы в процессе

самоорганизации. также как и другие диссипативные структуры, которые можно причислить к паттернам.



а)

б)

Рис.3. Ячейки Бенара. АСМ – изображение в 3D масштабе на ван-дер-ваальсовой поверхности Sb_2Te_3 -а); профилограмма вдоль линии (1) данной на рис.3а. -б)

Приведенные нами экспериментальные данные свидетельствуют не только о фракталоподобности природных макрообъектов, но и о распространении их на нанобъекты, формирующиеся в кристаллах.

Представленные нами шаблоны-структуры (см. рис. 4) следуют четким паттернам; по (характеристикам) размерам они не могут превышать межслоевые; находясь между квинтетами $Te^{(1)}-Te^{(1)} A_2^V B_3^{VI}$ эти паттерны активно влияют на процессы рассеяния электронов и фононов [3-4].

Паттерны в мире частиц могут быть схожи с паттернами не только в мире атомов, но с таковыми в твердотельных структурах. Кроме приведенных структур (на рис. 1-4) можно рассмотреть примеры паттернов в композитах и в многофазных эвтектических системах. На рис.5 дано рентгеновское изображение эвтектики $PbTe-NiSb$; выделенное эллипсоподобной фигурой изображение – это стержни фазы твердого раствора $NiSb$, растворенного в $PbTe$ [4]. Эти стержни очень схожи по размерам и форме, повторяются в структуре эвтектики, являясь неотъемлемой частью второй фазы, и понижают температуру плавления системы, повышают пластичность эвтектики и изменяют ее другие свойства. Фракталоподобные структуры таких типов можно назвать автопаттернами.

На рис.6 приведены локализованные паттерны в твердотельных кристаллах $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Zn}$, имеющих различную иерархию.

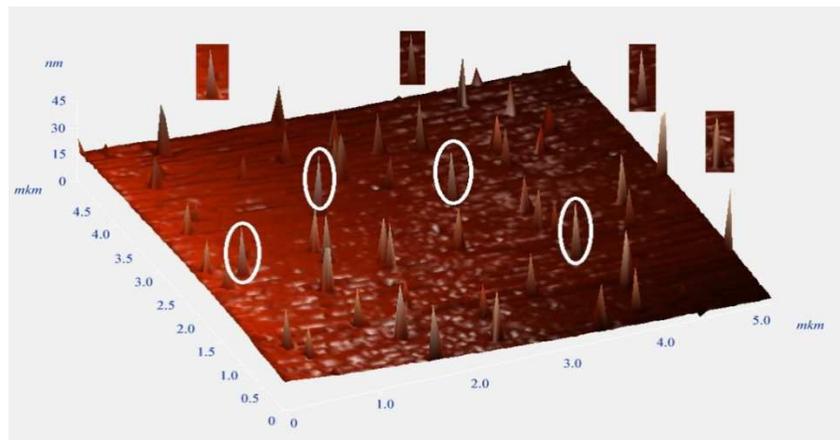


Рис.4. Самоорганизованные нанопаттерны на поверхности (0001) $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Se}$



Рис.5. Рентгеновское изображение ориентированной эвтектики системы PbTe-NiSb , полученной на электронном микроскопе JSM- 50A продольный шлиф, изображения в лучах Sbx 2000

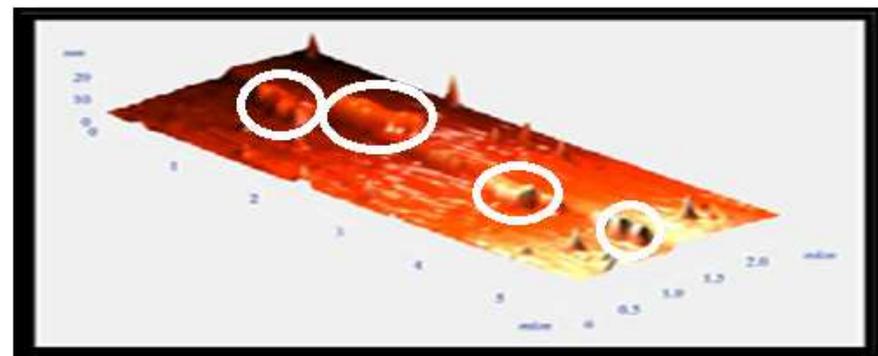


Рис 6. Локализованные паттерны на поверхности (0001) $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Zn}$

Заключение. Сравнение морфологии поверхности природных структур и морфологии наноструктурированных кристаллов Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) выявило в них геометрически подобные элементы. Ячейки Бенара, “пчелиные соты”, некоторые формы шестигранных нанообъектов на ван-дер-ваальсовой поверхности в слоистых кристаллах явились примером консервативной и диссипативной самоорганизации. В таких системах самоорганизация процессов в межслоевом пространстве $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ при пониженных температурах исследуемых систем приводит к формированию шестигранных структур и наноостровков на различных иерархических уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков Ю .Д. Процессы самоорганизации в химии материалов // Успехи химии 72(8) 2003,с.731
2. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Автоструктуры. Хаотическая динамика ансамблей // В кн.: Нелинейные волны. Структуры и бифуркации. М. Наука, 1987. С. 7–44.
3. Aleskerov F.K., Kahramanov S.S. The Conceptions Of The Fraktal In The Physis Of Supramolecular Eutectics// Fizika 2007.p- 52 CILD XIII №5.
4. Кахраманов К.Ш., //Неорганические материалы т.17,№7,1981,с.1203-1205.