

МУЛЬТИКРИТИЧЕСКАЯ ТОЧКА ДВУМЕРНОГО НЕСОИЗМЕРИМОГО КРИСТАЛЛА

И.Ф. Люксютов

Изучается плавление солитонной сверхструктуры адпленки вблизи точки соизмеримости. Показано, что в этой точке обращается в нуль модуль сжатия решетки солитонов. Найден механизм образования дислокаций. В результате получен вид фазовой диаграммы, для которой точка соизмеримости является мультикритической.

Двумерные структуры, обладающие несоизмеримой с подложкой решеткой обнаружены в большом числе систем адсорбат-подложка. Это, например, пленки благородных газов на графите [1] и пленки щелочных и щелочноземельных атомов на подложках тугоплавких металлов [2]. В случае металлических подложек несоизмеримая структура возникает путем сжатия соизмеримой вдоль определенных кристаллографических направлений подложки, определяемых анизотропией потенциального рельефа. При построении модели фазового перехода из соизмеримой в несоизмеримую фазу достаточно рассматривать смещения адатомов только вдоль направления сжатия. В качестве другого упрощения можно взять решетку адатомов с примитивной ячейкой (экспериментальные примеры: Li – W (112), Li – Mo(112) [3]).

Гамильтониан модели можно записать в виде (подробнее см. [4]):

$$H = \int dx dy \left\{ \frac{1}{2} \lambda_1 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \lambda_2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + v \cos \phi \right\}. \quad (1)$$

Здесь $u(x, y)$ – смещение решетки, $\lambda_1 - \lambda_2$ – упругие константы адпленки, v – амплитуда рельефа подложки, $\phi = 2\pi b^{-1}(u + (a - b)a^{-1}x)$, a и b – близкие периоды пленки и подложки. Гамильтониан вида (1) соответствует решетке со свободными концами. Взаимодействие щелочных адатомов – отталкивательное [2], и поэтому их следует описывать моделью "зажатой" решетки, в которой период пленки определяется концентрацией c адатомов. С формальной стороны это достигается введением соответствующего лагранжева множителя μ и добавлением в (1) члена $\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} - 2\pi b^{-1}(1 - c) \right)$.

В несоизмеримой фазе вблизи точки соизмеримости ($a/b \sim 1$) возникает сверхструктурная решетка линейных солитонов с одномерной периодичностью. Поперечный размер солитона $l \sim b \lambda_1^{1/2} v^{-1/2}$, смещение u при прохождении солитона меняется на период решетки, а фаза ϕ на 2π . Поле смещений u спадает экспоненциально на границе солитона. Расстояние между солитонами L определяется отношением a/b . В точке перехода соизмеримая – несоизмеримая фаза, период L стремится к бесконечности. Солитонная сверхструктура обладает непрерыв-

ной группой трансляций относительно подложки [4]. При достаточно низких температурах $T \ll v$, λ_1 , λ_2 это позволяет рассматривать ее как новую двумерную решетку на гладкой подложке.

В данной работе исследуется плавление такой решетки вблизи точки соизмеримости. Для этого необходимо вычислить упругие модули солитонной решетки и найти механизм образования в ней дислокаций. Изменение энергии $\delta \epsilon$ при сближении двух солитонов длины L на δu есть: $\delta \epsilon \sim \lambda_1 L^2 l^{-2} \exp(-Ll^{-1})(\delta u)^2$. Поэтому модуль сжатия решетки солитонов $\Lambda_1 \sim \lambda_1 L^2 l^{-2} \exp(-Ll^{-1})$. Модуль сдвига Λ_2 , как следует из (1), не может измениться при изменении масштабов, поэтому $\Lambda_2 \sim \lambda_2$. Таким образом, солитонную решетку можно описать с помощью гамильтониана:

$$H = b^2 (2\pi)^{-2} (\Lambda_1 \Lambda_2)^{1/2} \int ds dt \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial s} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 \right\}. \quad (2)$$

Здесь $s = x \Lambda_1^{-1/2}$, $t = y \Lambda_2^{-1/2}$. Механизм плавления двумерного кристалла связан с взаимодействием дислокаций [5]. Ниже точки перехода дислокаций связаны в пары, выше — свободны.

Рассмотрим механизм образования дислокаций в решетке солитонов. Пусть в решетке адатомов возникла дислокация. Ее можно представить, например, как лишний ряд атомов, обрывающийся в ядре дислокации. При обходе по произвольному контуру вокруг такого ядра набег фазы ϕ равен 2π . Так как решетка адатомов находится на подложке, то любые деформации этой решетки должны быть локализованы на расстояниях порядка $l_0 \sim bv^{-1/2} \max(\lambda_1^{1/2}, \lambda_2^{1/2})$. Это характерный размер, на котором энергия упругой деформации становится порядка величины потенциального барьера подложки. Такая локализация означает, что в области расстояний $R > b_0$ поле напряжений дислокации локализуется в солитон с концом дислокации. В несоизмеримой фазе его можно рассматривать как лишнюю линию солитонной решетки, обрывающуюся в ядре новой дислокации, но уже в решетке солитонов. Солитон с концом (выделен штриховкой) изображен на рис. 1. (Линии обозначают атомные плоскости). Похожие решения (солитоны, опирающиеся на дефекты) были получены в работе [6] для сверхтекучих фаз ^3He . Температура фазового перехода определяется характерной энергией взаимодействия пар дислокаций. Эта энергия однозначно связана с упругими константами гамильтониана (2), изоморфного гамильтониану XY-модели. Воспользовавшись известными результатами для XY-модели [5], легко найти температуру перехода. Ее зависимость от концентрации адатомов в случае металлических подложек имеет вид

$$T_c \sim (v \lambda_2)^{1/2} (1 - c)^{-1} b^2 \exp\left(-\frac{1}{2} v^{1/2} \lambda_1^{-1/2} (1 - c)^{-1}\right).$$

При рассмотренном переходе теряется трансляционный порядок. Ориентационный (направление солитонов) — задается анизотропией адпленки и при переходе сохраняется. Поэтому солитонная решетка плавится в жидкий кристалл солитонов. То, что двумерный кристалл плавится в жидкий кристалл было показано в работе [7]. Характер фазовой диаграм-

мы для свободной решетки показан на рис. 2. Фаза I — соизмеримый кристалл, фаза II — несоизмеримый кристалл, фаза III — жидкий кристалл солитонов. Как видно из рисунка, на фазовой диаграмме имеется особая точка M , которую можно назвать мультикритической. В случае зажатой решетки область существования соизмеримой фазы сжимается в линию ($a = b$).

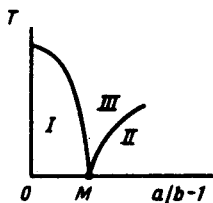
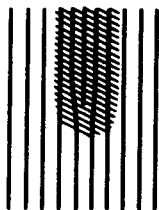


Рис.1. Солитон с концом на дислокации

Рис.2. Фазовая диаграмма

Для экспериментальной проверки полученной фазовой диаграммы необходимо провести исследования зависимости величины и положения сверхструктурных рефлексов решетки солитонов от концентрации и температуры. Кроме проверки соотношения (3) такие эксперименты могут дать возможность непосредственно исследовать механизм двумерного плавления.

Автор глубоко признателен В.Л.Покровскому за многочисленные обсуждения и А.Г.Наумовцу, В.К.Медведеву, А.Г.Федорусу за разъяснение экспериментальной ситуации.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
6 июля 1980 г.

Литература

- [1] M.D.Chinn, S.C.Fain. J. Phys. Rev. Lett., 39, 146, 1977.
- [2] Л.А.Большов, А.Л.Напартович, А.Г.Наумовец, А.Г.Федорус. УФН, 122, 125, 1977.
- [3] V.K.Medvedev, A.G.Naumovets, T.P.Smereka. Surf. Sci., 34, 366, 1977; М.С.Гупало, В.К.Медведев, Б.М.Палюх, Т.П.Смерека. ФТТ, 21, 973, 1979.
- [4] В.Л.Покровский, А. П. Талапов. ЖЭТФ, 78, 269, 1980.
- [5] J.M.Kosterlitz, D.J.Thouless. J. Phys., C6, 1181, 1973.
- [6] V.P.Mineyev, G.E.Volovik. Phys. Rev., B18, 3197, 1978.
- [7] D.R.Nelson, B.I.Halperin. Phys. Rev. B19, 2457, 1979.