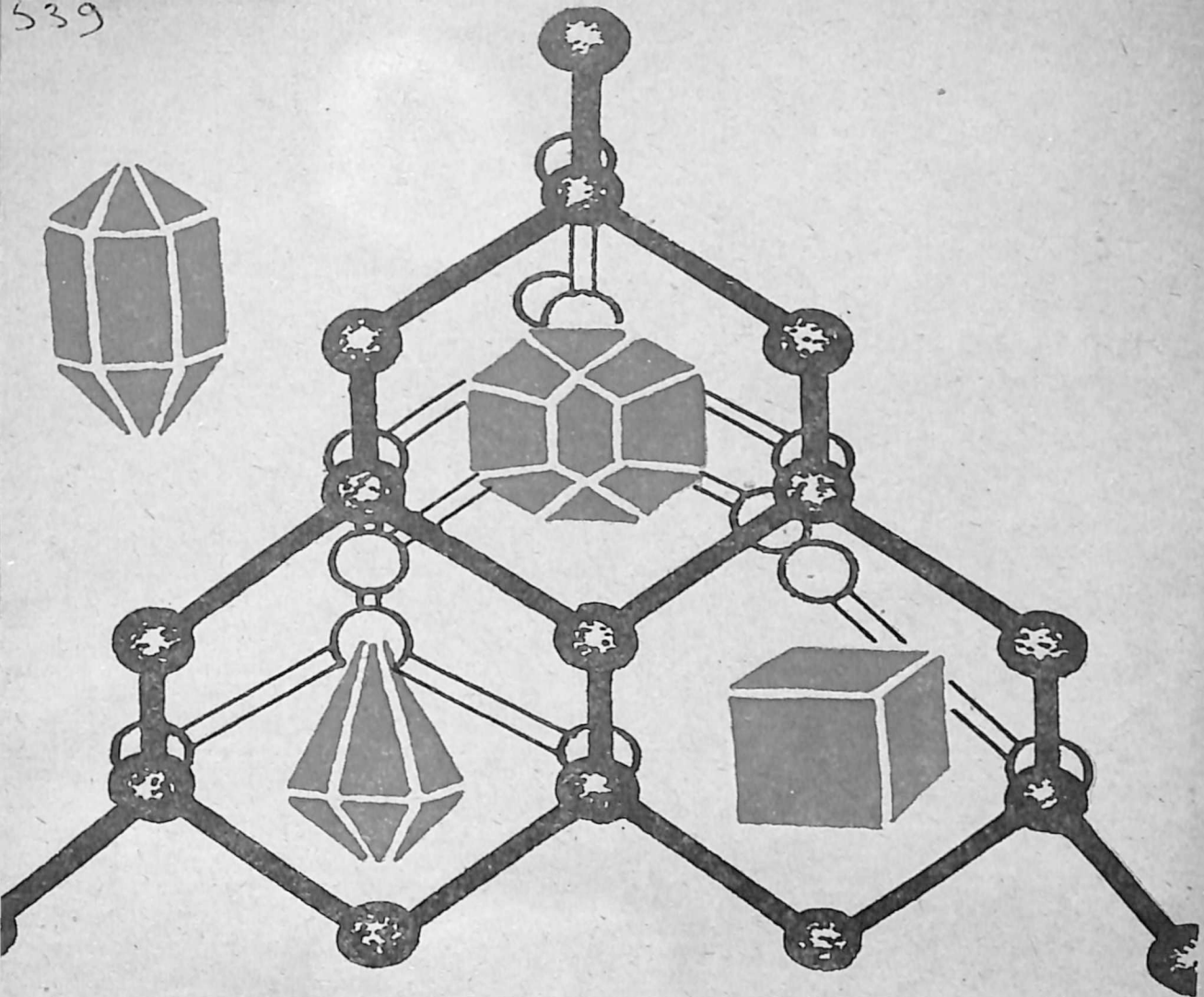


539



ФИЗИКА
ТВЕРДОГО ТЕЛА

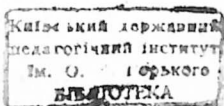
Киев — 1972

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

Киевский государственный педагогический институт
им. А.М.Горького

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Сборник статей



618571

75

Киев - 1972

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Сборник статей, 1972, 204 стр.

Сборник содержит исследования аспирантов и преподавателей педагогических институтов.

Статьи сборника охватывают вопросы изучения структуры, электрических, оптических, механических свойств полупроводников и их соединений, ферритов и других кристаллов.

Цикл работ посвящен исследованию теплофизических, электрических свойств полимеров и их композиций, важных вопросов физики твердых дисперсных систем.

Сборник рекомендуется для аспирантов и студентов физико-математических факультетов вузов, научных и инженерно-технических работников и всех тех, кто занимается изучением физических свойств твердых тел и дисперсных систем.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Дущенко В.П. /ответственный редактор/, Тычина И.И.,
Киричок П.П., Мирошниченко Ф.А., Барановский В.М.,
/ответственный секретарь/.

И.Т.Горбачук, С.С.Духин, В.П.Дущенко

НОВЫЙ МЕТОД И ПРИБОР ДЛЯ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Электрофорез единичных частиц является наиболее удобной для измерения и теоретической интерпретации разновидностью электрокинетических явлений. Эти измерения обычно производятся с помощью микроскопа, вследствие чего метод получил название микроскопического или микроэлектрофореза.

На протяжении многих десятилетий теория и экспериментальная техника микроэлектрофореза непрерывно совершенствовались и накопленные в этой области результаты неоднократно систематизировались в обзорах и монографиях [1 - 3].

Известно много разновидностей приборов [2] для микроскопического электрофореза. Они отличаются по форме, размеру, ориентации, типу измерительных камер и электродов, по манипуляциям, необходимым для их заполнения, герметизации и опорожнения. Однако все описанные ранее приборы по принципу работы идентичны, поскольку объединяющим признаком их является замкнутость измерительных камер в понимании отсутствия интегрального по сечению камер потока жидкости за счет электроосмоса. При наложении электрического поля к токонесящим электродам в замкнутых измерительных камерах образуется параболический профиль скоростей жидкости, влияние которого на электрофорез частиц зависит от уровня слоя, на котором произведено измерение. Теоретические расчеты [4] показали, что в случае плоской, прямоугольного сечения измерительной камеры, существует два, так называемых, стационарных уровня, в плоскости которых электроосмотический поток жидкости и пуазейлевский противопоток взаимно скомпенсированы. Наблюдаемому в микроскоп скорость частиц на этих

уровнях можно принять равной истинной электрофоретической скорости. Метод измерения электрофоретической подвижности частиц на стационарном уровне оказался наиболее оперативным и популярным в значительной степени благодаря хорошей теоретической обоснованности.

Несмотря на полученные научные и практические результаты по определению ζ - потенциала частиц на стационарном уровне данный метод имеет свои недостатки и ограничения. Во-первых, производить наблюдение движения частиц строго в плоскости стационарного уровня невозможно, поскольку в поле зрения микроскопа всегда будут попадать частицы, находящиеся в некотором слое конечных размеров, толщина которого определяется как размером частиц, так и оптическими свойствами микроскопа /глубиной резкости или фокусировки/. Частицы, находящиеся в этом слое и попадающие в зону наблюдения, могут значительно отличаться по величине скорости. Во-вторых, в результате седиментации одна и та же частица, за которой ведется наблюдение, в процессе замера может проходить слои жидкости, двигающиеся с разными скоростями по величине и даже направлению. Скорость движения наблюдаемой частицы будет изменяться и тем сильнее, чем быстрее процесс седиментации. В-третьих, чтобы истинное положение стационарного уровня совпадало с расчетным, необходимо соблюдать тщательную параллельность верхней и нижней поверхностей плоской измерительной камеры, а также строгое постоянство глубины по всей площади камеры, что практически трудно осуществимо. Кроме этого, следует отметить трудности градуировки прибора и проверки его пригодности к проведению измерений.

Нами разработан новый метод [5] и изготовлен прибор [6] для микроскопического электрофореза, в значительной степени устраняющие вышеуказанные недостатки и позволяющие получать более надежные экспериментальные результаты при одновременном снижении

трудоемкости процесса измерений.

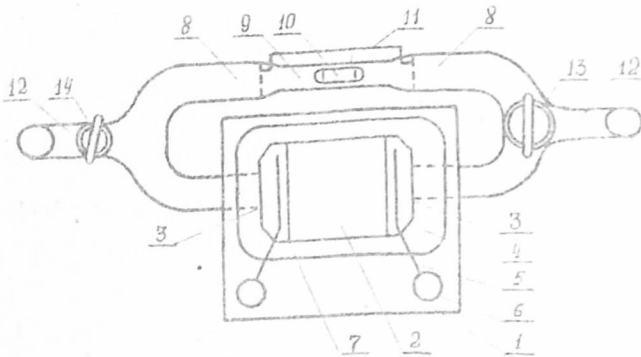


Рис. 1. Схема микроэлектрофоретического прибора с открытой плоской измерительной камерой.

Прибор /рис. 1/ включает прозрачный, изготовленный из кварцевого стекла, каркас 1, снабженный плоской измерительной камерой 2 с электродными углублениями 3-3, в которых размещены токонесущие электроды 4, соединенные выводами 5 с клеммами 6. Электродные углубления 3-3 и электроды 4 изменены по сравнению с известными приборами в направлении увеличения их площади с целью уменьшения плотности тока и, соответственно, снижения поляризации, а также электролиза. Верхней плоскостью измерительной камеры 2 служит покрывное стекло 7. Электродные углубления 3-3 с помощью вспомогательных трубок 8-8 соединены с отсчетным капилляром 9, содержащим в рабочем состоянии воздушный пузырек 10, выполняющий роль расходомера электроосмотически перенесенной жидкости в камере 2. Дополнительные сетчатые /или спиральные/ электроды 11 введены для снятия электрического поля с отсчетного капилляра 9 и находящегося в нем пузырька 10. Для заполнения прибора дисперсионной жидкостью и его опорожнения по окончании опыта к вспомогательным труб-

кам 8-8 симметрично присоединены патрубки 12-12 с трехходовым краном 13 и двухходовым - 14.

При наложении электрического поля постоянной напряженности E к токонесущим электродам 4 в измерительной камере 2 возникает электроосмотический перенос жидкости, в результате чего на концах камеры создается определенный перепад давления ΔP . Под действием возникшего градиента давления зарождается два дополнительных потока жидкости: один через камеру 2 навстречу электроосмосу, а другой через отсчетный капилляр 9. Соотношение величин этих потоков зависит от отношения гидродинамического сопротивления камеры $2 / W_k$ к сумме гидродинамических сопротивлений отсчетного капилляра $9 / W_0$ и вспомогательных соединительных трубок 8-8 $/ W_T$.

Если принять, что h - глубина, b - ширина, a - длина измерительной камеры 2, то ее гидродинамическое сопротивление определится соотношением

$$W_k = \frac{3\eta a}{h^3 b}, \text{ где } \eta - \text{динамическая вязкость жидкости.}$$

Соответственно для отсчетного капилляра 9

$$W_0 = \frac{8\eta l}{\pi r^4}, \text{ где } r - \text{радиус, } l - \text{длина отсчетного капилляра.}$$

Для вспомогательных соединительных трубок 8-8

$$W_T = \frac{8\eta L}{\pi R^4}, \text{ где } R - \text{радиус, } L - \text{общая длина трубок 8-8.}$$

Экспериментально установлено, что только при W устраняется параболичность профиля скоростей жидкости в измерительной камере настолько, что ее величина оказывается за пределами точности измерений микроскопического электрофореза.

В приведенных расчетах не учтено дополнительное сопротивление, создаваемое воздушным пузырьком в отсчетном капилляре, поскольку его величина может изменяться от случая к случаю в зад.

зависимости от чистоты внутренней части капилляра, длины пузырька, скорости его движения, гидрофильности поверхности и др. Влияние сопротивления пузырька проверялось экспериментально по измерению наблюдаемой в микроскоп скорости частиц на разных уровнях по глубине измерительной камеры при наличии пузырька в отсчетном капилляре и без него. Если данные совпадали и их величина оставалась постоянной на разных уровнях, то считалось, что прибор пригоден к проведению измерений. Исследования показали, что при тщательной очистке отсчетного капилляра и при длине воздушного пузырька примерно в 1,2 раза больше диаметра капилляра, его сдвиговое сопротивление малое и практически не влияет на величину наблюдаемой скорости частиц на всех уровнях камеры 2. Воздушный пузырек при этом является достаточно чувствительным приспособлением для измерения скорости электроосмоса в измерительной камере.

Метод измерения электрофоретической скорости частиц / $\vec{U}_{e.f.}$ / с применением вышеописанного прибора заключается в следующем. Наложение электрического поля к токонесущим электродам вызывает электроосмотическое движение жидкости в измерительной камере с постоянным профилем скоростей / $\vec{U}_{e.f.o.}$ /. С другой стороны, за счет электрофореза частицы движутся относительно жидкости со скоростями, зависящими лишь от величины их ζ - потенциала и величины поля. Отсюда понятно, что наблюдаемая в микроскоп скорость частиц / \vec{U}_n / независимо от уровня наблюдения в измерительной камере будет постоянной, а ее величина равной алгебраической сумме $\vec{U}_{e.o.}$ и $\vec{U}_{e.f.}$

$$\vec{U}_n = \vec{U}_{e.o.} + \vec{U}_{e.f.}$$

Произведя измерение U_n обычным способом без требования соблюдения определенного уровня измерений и $U_{e.o.}$ по перемещению воздушного пузырька в отсчетном капилляре, легко рассчитать истинную электрофоретическую скорость частиц $U_{e.f.}$.

В табл. 1 приведены данные проверки постоянства ζ монодисперсных сферических частиц меламиноформальдегидной смолы по сечению открытой измерительной камеры микроэлектрофоретического прибора

Таблица 1

Уровень наблюдения в измерит. камере / h, мкм /	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Путь частицы / l, мкм /	200	200	200	200	200	200
Ср. время / τ , сек. /	6,6	6,6	6,7	6,7	6,7	6,6
Ср. скорость / $U_n \cdot 10^5$, м/сек /	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

В табл. 2 сведены результаты измерения скорости электрофореза частиц меламиноформальдегидной смолы / $d = 6 \mu\text{м}$ / в дистиллированной воде при $E = 2 \cdot 10^6$ в/м и расчета их ζ - потенциала по разработанному нами микроэлектрофоретическому методу.

Таблица 2

Я частицы	Путь частицы / l, мкм /	Время / τ , сек. /		$\tau_{\text{ср}}$, сек.	$U_n \cdot 10^5$, м/сек	$U_{\text{ср}} \cdot 10^5$, м/сек	$U_{\text{ср}} \cdot 10^5$, м/сек	ζ - потенциал / мВ /
		Туда	Обратно					
1	200	6,6; 6,7	6,8; 6,7	6,7	3,0	6,1	9,1	64,2
2	200	6,8; 6,6	6,9; 7,0					
3	200	6,5; 6,6	6,7; 6,7					
4	200	6,4; 6,5	6,8; 6,7					

В работе [7] ζ - потенциал частиц меламиноформальдегидной смолы в воде 62 тв.

Литература

1. Abramson H.A., *Electrokinetic Phenomena*, N-Y, 1933.
2. Shaw D.J., *Electrophoresis*, London N-Y, 1969.
3. Кройт Г.Р., Наука о коллоидах, т. I, Издательств, 1955.
4. Власк А.Р., Smith A.L., *AWWA*, 1962, 54, 926
5. Духин С.С., Горбачук И.Т., Дущенко В.П. Положительное решение ВНИИГПЗ по заявке на изобретение № 1673717/26-25 от 16.11.1972.
6. Духин С.С., Горбачук И.Т., Дущенко В.П. Положительное решение ВНИИГПЗ по заявке на изобретение № 1670802/26-25 от 16.11.1972.
7. Воробьева Т.А. Канд.диссертация. М., Ин-т физики АН СССР, 1972.

УДК 536.21

В.П.Дущенко, В.М.Андрянов

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЕРЗАНИЯ ТИПИЧНОЙ ВЛАЖНОЙ ТВЕРДОЙ
ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ

Вопросы формирования температурных полей в промерзающих влажных твердых дисперсных системах имеет большое научное и практическое значение.

Мерзлые твердые дисперсные системы представляют собой сложные многофазные, многокомпонентные системы и в связи с этим решение задачи на промерзание таких систем с образованием границы раздела фаз /задача Стефана/ представляет определенные математические трудности. Для решения задачи Стефана в последнее время успешно используются различные аналитические методы [1], а также гидроринтеграторы [3], ЭВМ [2] и другие.

Приведем в качестве типичной влажной твердой дисперсной систе-