

[7] Senulienė D., Babonas G., Leonow E.I., Muninovi I. and Orlov V.M. - Phys. Stat. Sol. (a), 1984, v. 84, N 1, p. 113-117.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ОБРАЗОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ВЫСЫХАНИИ ПЛЕНКИ БЕЛКА

Е.Г. Рапис

В настоящей работе описаны первые наблюдения упорядоченной структуры, возникающей при высыхании пленки белка различного происхождения (бычьего альбумина, куриного белка, сывороточного альбумина и глобулина, а также гемоглобина человека). При этом образуется „розетка высыхания“, которая серией закономерно расположенных трещин делится на блоки. В этих блоках возникает волновой процесс с невозбужденным, геометрическим правильно расположенным центром, наподобие клеток и их ядер, вокруг которых возникают трещины в виде спиралей.

Цель работы состояла в изучении динамики процесса высыхания белка и влияния на структуру „розетки высыхания“ некоторых воздействий. Для этого было проведено 150 опытов по следующей методике: пять равновеликих капель (пленок) белка различного вида помешались на предметное стекло и при $T=26^{\circ}\text{C}$ под световым микроскопом „Биолам“ фотографировалась и описывалась картина высыхания через каждые 5-15 минут.

Изучалась морфологическая структура „розетки высыхания“ при изменении концентрации белка. Для этого белок куриного яйца последовательно разводился физиологическим раствором или дистиллированной водой. Высушивалась пленка белка при разных температурах ($+27$, $+37$, -1 , -2°C и т. д.) на разных подложках (стекло, пластмасса, несмачиваемая белком) под воздействием магнита и ультразвука, а также после смешивания раствора белка с раствором куриного ДНК и РНК, после чего проводилась фиксация структуры „розетки высыхания“ белка. Предварительно изучалась кристалло-оптическая картина отвердевшей капли 10 % раствора ДНК и РНК.

Были получены следующие результаты. Вначале по всей капле формировались от наружного периметра к центру изотропные кольца с наличием центра, где кольца отсутствовали (рис. 1). Кольца фактически образуют витки большой спирали. На 20-й минуте появлялись первые радиальные трещины, довольно быстро развивающиеся в весьма сложную структуру (рис. 2). Рождение трещин про-

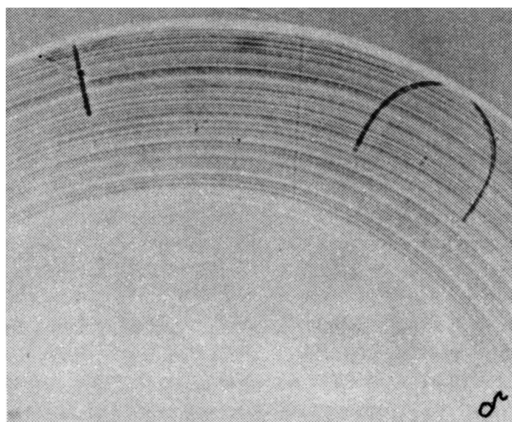
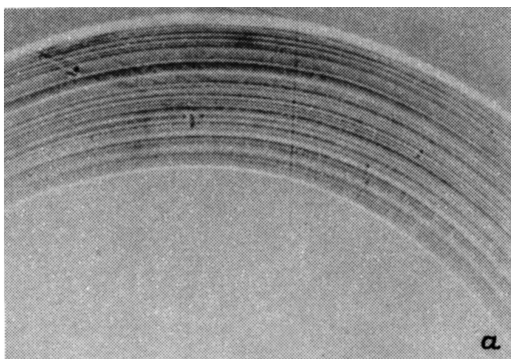


Рис. 1. Образование начальных круговых волн по всей капле. Световой микроскоп Ув. $\times 10$. а – через 4 минуты количество волн увеличилось; б – через 8 минут – появление круговых волн в парацентральной зоне.

исходило практически мгновенно, а частота их появления росла со временем. Через 30 минут радиальные трещины протянулись почти до центра, образуя петли или несколько изогнутых кривых, соединяющихся друг с другом дугами по наружному периметру. К 35-й минуте начинали появляться поперечные трещины, что приводило к образованию блоков или „клеток“, постепенно захватывающих всю поверхность капли. Причем появление трещин сразу же сопровождалось возникновением мелких волн, идущих параллельно трещинам, с интерференционной розовой и голубой окраской. Последние, располагаясь параллельно друг другу, шли от периферии к центру, постепенно заполняя почти весь блок, встречаясь с волнами от противоположной стороны (от другой трещины), но не сходились, а образовывали в центре зону, где отсутствовали волны. Вслед за этим в течение 35–40 минут в зоне, окружающей центр, появлялись округлые трещины, которые в конечном виде видны как спирали

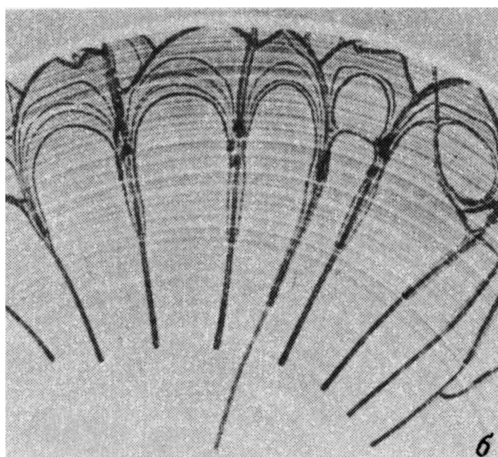
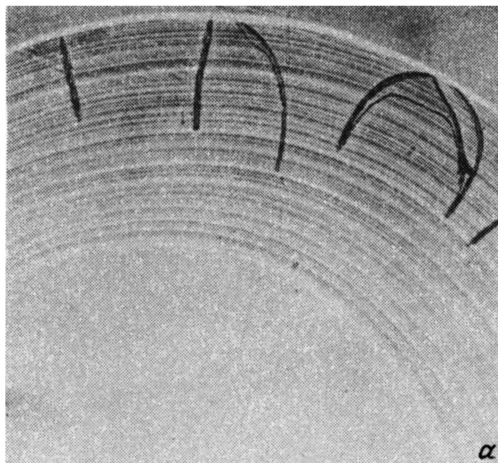


Рис. 2. Образование радиальных и поперечных трещин. Световой микроскоп Ув. х 10. а – через 20 минут – появление первых дугообразных трещин по наружному периметру; б – через 22 минуты – появление поперечных трещин 1-го порядка.

(рис. 3, а). В конце процесса возникает весьма четкая структура, напоминающая по форме клетки и их ядра (рис. 3, б).

Количество, симметрия блоков, количественная и качественная структура спиралей в центре их зависят от концентрации белка в значительной степени, от сохранности его структуры, например, испорченный белок не дает такой правильной симметричной картины при высыхании. Морфология „роетки высыхания“ также зависела от температуры высыхания – с повышением последней улучшалось качество структурирования, появлялось большее количество блоков,

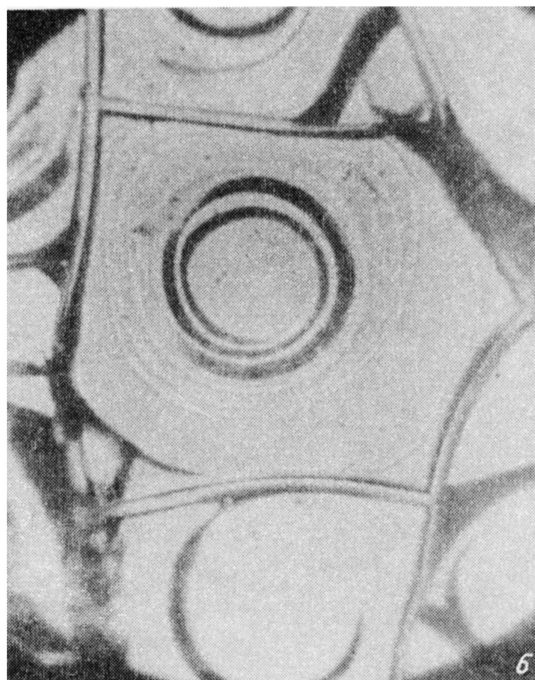
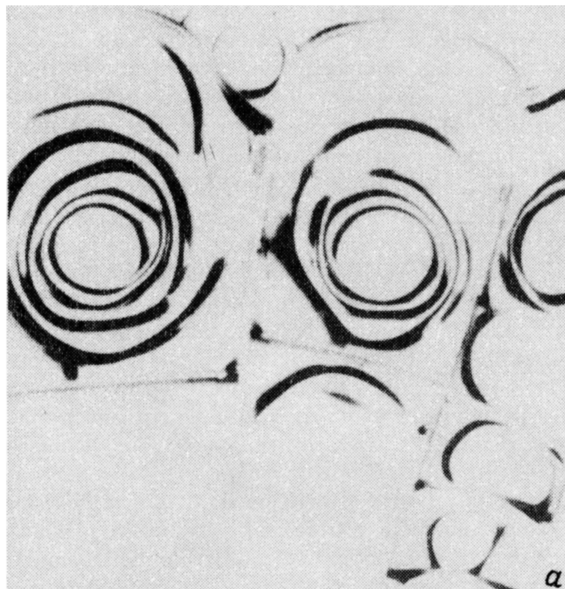


Рис. 3. Формирование центральных спиральных трещин. Световой микроскоп Ув. 7 x 8, а - через 30 минут - появление дугообразных трещин в центральной зоне и витка спирали; б - через 2 часа - окончательная структура.

почти в каждом блоке формировались спиральные трещины; от подложки, на которой происходило высыхание пленки белка; от его концентрации. При изменении последней довольно четко и закономерно видоизменяется картина высохшей капли, меняется объем наружной каймы (ширина ее). В зоне воздействия магнита и ультразвука процесс формирования блоков и спиралей менее выражен.

При смешивании капли раствора белка с раствором РНК и ДНК зона кристаллизации ДНК нарушалась, в отличие от поведения последнего в отсутствие РНК, когда ДНК оказывалось более поверхностно активным веществом, чем белок. При смешивании белка, РНК и ДНК оказывалось, что по наружному периметру высохшей капли и в периферических зонах ее располагалась неизменная, присущая белку, морфологическая картина. Однако ободок, свойственный белку, становился небольшой, примерно в два-три ряда блоков или "клеток", а в центре шло поле, где определялись кристаллические формы, присущие ДНК, еще центральнее были видны кристаллы РНК. Получалось, что ДНК в присутствии РНК меняет свойства поверхностной активности и как бы "перетягивается" РНК к центру.

Явление формирования специфической для белка различного вида морфологической структуры, соизмеримой с концентрацией белка в растворе и величиной наружного периметра капли, где белок закономерно располагался при высыхании жидких биологических сред (слезы, стекловидного тела, сыворотки и др.), было использовано для качественного и количественного выявления белка в медицинской практике.

Проследивая характер поведения продольных трещин высыхания в пленке белка, мы обнаруживали, что они всегда вначале имели направление, перпендикулярное к периметру капли. Такая картина дает основание предположить, что их происхождение связано с постепенным заполнением разреженных областей благодаря атомной диффузии под воздействием сил поверхностного натяжения. По-видимому, в силу анизотропных свойств, присущих белку, имеются определенные направления наиболее легкого скольжения топологических структур, подобных дислокациям в кристалле.

Кроме того, кинетика процесса высыхания белка связана, как мы наблюдали, с некоторым процессом волнового типа в каждом блоке и формированием спирали в центре блока. Это, скорее, характерно для нелинейных автоволн, но не для линейных волновых процессов. Отсутствие явлений суперпозиции и интерференции и явление аннигиляции волн дает основание предполагать, что рассматриваемый процесс имеет автоволновой характер. Это характеризует белок, как активную среду, в которой выявляемая при высыхании "розетка", ее геометрическая форма, могут определяться нелинейными автоволновыми колебательными процессами. Параметром, определяющим неравновесность среды, по-видимому, следует считать концентрацию воды в белке.

Таким образом, мы предполагаем, что морфология высыхающей и высохшей пленки белка определяется процессами самоорганизации

и морфогенеза, которые вообще характерны для молекулярной структуры белка на разных уровнях. Поэтому дальнейшее изучение „розетки высыхания“ может быть полезным для раскрытия некоторых общих черт при фазовых переходах белка.

Хотелось бы в заключение отметить, что для наших опытов характерна простота и надежность экспериментального материала, всегда доступного и имеющегося в практически неограниченном количестве.

Автор признателен М.Я. Амусья и М.И. Клиггеру за полезные обсуждения работы.

Л и т е р а т у р а

[1] Р а п и с Е.Г. Кристаллография в офтальмологии. Киев, Всесоюзный съезд офтальмологов. Киев, 1973, с. 56–57.

Туркменский научно-исследовательский институт глазных болезней

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

КИНЕТИКА ФОТОТОКА В АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫХ СТРУКТУРАХ СО ВСТРОЕННЫМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ БАРЬЕРОМ

Л.А. В о л к о в, В.Г. Д а н и л ь ч е н к о,
В.И. К о р о л ь к о в, А.А. П у л а т о в,
Б.В. П у ш н ы й, Т.С. Т а б о р о в,
А.С. У с и к о в

1. С точки зрения повышения эффективности ввода света предпочтительней является вертикальная структура фотодетектора. К числу фотодетекторов с вертикальной структурой, обладающих внутренним усилением, относятся вертикальные полевые фототранзисторы (ВПФТ), вертикальные фотоспротивления на основе изотипных $N^-p^0-p^+$ -гетероструктур с тонкой активной областью, планарно-легированные структуры [1–4]. В основе их работы в качестве фотодетекторов лежит модуляция высоты встроенного потенциального барьера, высота которого меньше ширины запрещенной зоны, поглощенной падающим светом.

Последние годы этот класс фотодетектора интенсивно изучается. По нашему мнению, наибольший интерес для достижения высоких быстродействия и усиления представляют ВПФТ, в которых потенциальный барьер образован встроенной сеткой из p^+ -областей в p^0 -области, заключенной между двумя сильно легированными p^+ -областями. Схематическое изображение структуры дано на вставке рис. 3. Характерной особенностью зонной энергетической диаграммы