УДК 5480; 535.6

РОЛЬ ЖЕЛАТИНА В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА МИКРОКРИСТАЛЛОВ ГАЛОГЕНИДА СЕРЕБРА В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Ципинова А.Х.*

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

**aminat2703@yandex.ru*

Аннотация. *В ходе реакции взаимодействия галогенидов щелочных металлов и соли серебра в присутствии защитного коллоида – желатина, получена светочувствительная дисперсия AgHal (по большей части в виде AgBr). Проведен анализ формирования и роста нано- и микрокристаллов галогенидов серебра в фотоэмульсии на желатиновой матрице.*

Ключевые слова: микрокристаллы галогенида серебра, фотографическая эмульсия, желатина, рост кристаллов, напряженность поля

THE ROLE OF GELATIN IN THE FORMATION AND GROWTH OF NANO- AND MICROCRYSTALS OF SILVER HALIDE IN PHOTOEMULSION

Tsipinova A.Kh.

Kabardino-Balkarian State University

Abstract. *The photosensitive dispersion of AgHal (mostly in the form of AgBr) was obtained during the reaction of alkali metal halides and silver salts in the presence of a protective colloid – gelatin. The analysis of the formation and growth of nano- and microcrystals of silver halides in a photoemulsion on a gelatin matrix is carried out.*

Keywords: microcrystals of silver halide, photographic emulsion, gelatin, crystal growth, field strength

Введение

Основные характеристики фотографических пленок, такие как светочувствительность, разрешающая способность, контрастность и т. д., определяются формами и размерами микрокристаллов (МК) галогенида серебра, диспергированными в желатине.

Как известно, фотопленка представляет собой прозрачную основу, покрытую с одной стороны желатиновым эмульсионным слоем, содержащим микроскопически малые светочувствительные кристаллы галогенида серебра.

На стадии эмульсификации формируются МК галогенида серебра нужного размера и формы в присутствии защитного коллоида – желатина. Для микрокристаллов желатин выполняет функцию защитного коллоида. Она предотвращает слипание микрокристаллов, возникновение неправильных форм и резкие различия в размерах между отдельными микрокристаллами. Следовательно, при изготовлении всех видов фотографических материалов желатин играет важную роль [1–3].

Результаты исследований

В данной работе МК $AgHal$ получены методом двухструйной эмульсификации, при котором растворы галогенидов серебра и $AgNO_3$ одновременно вливались в раствор желатина, находящегося в рабочей ячейке [4]. В процессе кристаллизации происходит образование зародышей и дальнейший рост МК. Желатин при этом адсорбируется на возникающих зародышах и оказывет влияние на распределение по

размерам и форме микрокристаллов. По фотографиям, полученным с помощью атомно-силового и оптического микроскопов проведен анализ роста МК $AgHal$ в желатине *(рисунок 1).*

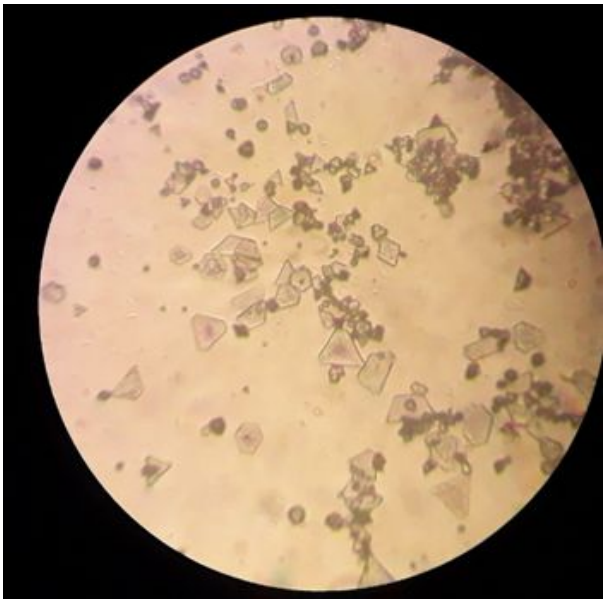

Рисунок 1 – Обзорная фотография фотоэмульсии (вид сверху)

На фотографии *(рисунок 2)* мы видим часть желатинового раствора, на котором отчетливо видна вершина одного МК, который возвышается над остальными растущими МК. Данный микрокристалл имеет высоту около 140 нм. Возле этого МК видны вершины еще нескольких микрокристаллов высотой около 60–80 нм.

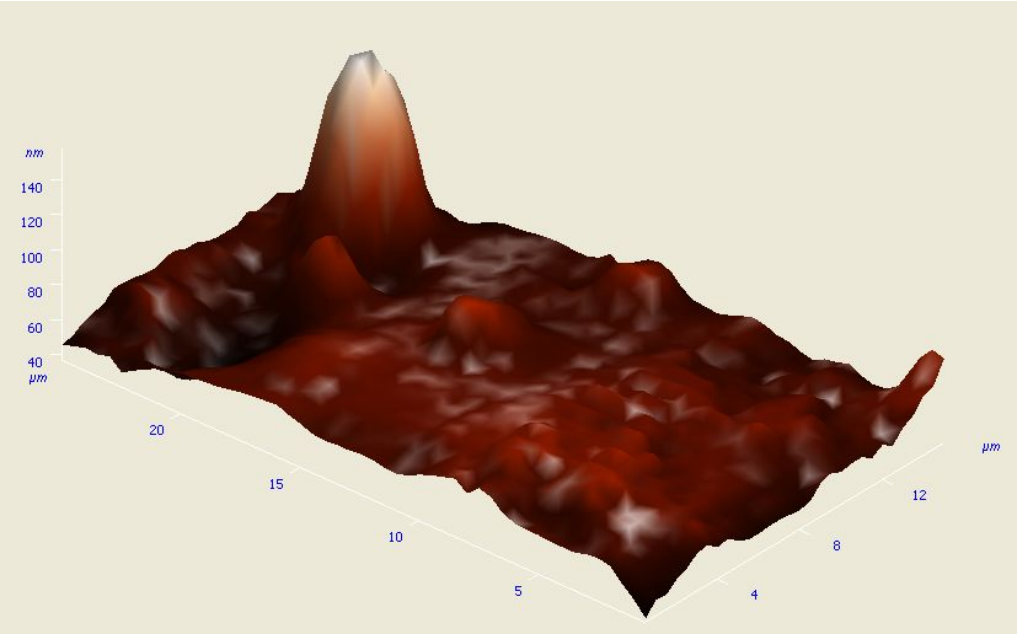

Рисунок 2 – Рост микрокристаллов галогенида серебра

На *рисунке 3* представлена вершина выращенного микрокристалла, значительно превосходящего по размерам остальные микрокристаллы (МК). Высота данного МК составляет приблизительно 8 мкм. Форма кристалла представляет собой пирамиду с основанием, стороны которого равны примерно 10-12 мкм. Можно сделать вывод, что представленный на рисунке микрокристалл достиг полной стадии роста. Дальнейшее увеличение его размеров будет незначительным.

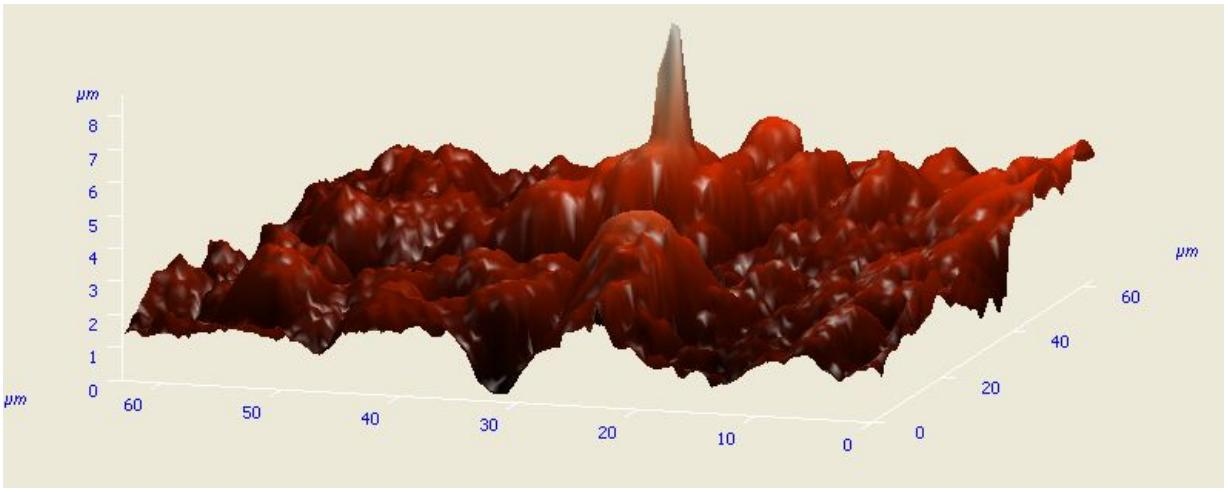

Рисунок 3 – Крупный кристалл в зоне роста

Микрокристалл, показанный на *рисунке 4*, можно считать уже сформировавшимся. Он имеет выраженную кубическую форму высотой 1,2 мкм и длиной стороны около 2 мкм [5].

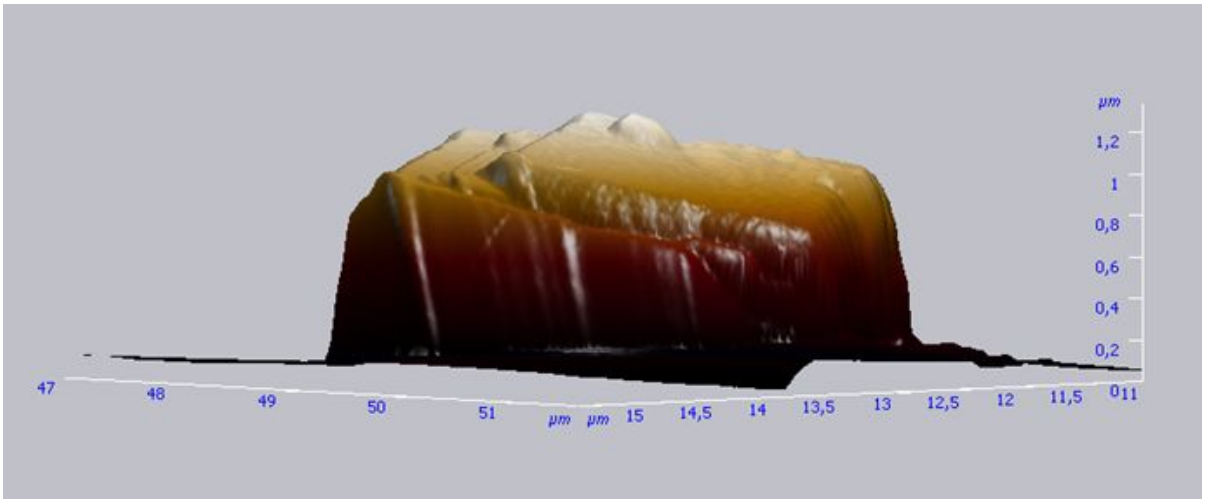

Рисунок 4 – Сформировавшийся микрокристалл AgHaI

Существующие модели роста МК носят в основном описательный характер [6–8]. В литературе практически отсутствуют теоретические расчеты, описывающие механизмы роста МК. В данной работе предложен механизм роста кристаллов за счет диффузии мелких кристаллов в зоне роста и электростатического взаимодействия между растущим кристаллом и мелкими кристаллами *(рисунок 5).*

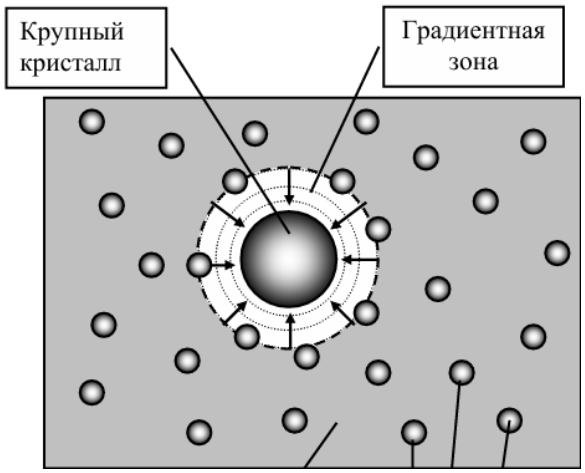

Рисунок 5 – Схема роста крупных кристаллов за счет мелких кристаллов

Мелкие кристаллы, находящиеся в зоне роста крупного кристалла начинают диффундировать через диэлектрическую среду желатина из-за градиента концентрации.

Мы считаем также, что при росте МК значительную роль играют силы электростатического взаимодействия между ними. Как известно, рост МК происходит на дефектах, т. е. на изломах или ступенях с избыточным зарядом $\pm e/2$.

Под действием электростатического поля растущего кристалла происходит одновременно как упорядоченное движение мелких МК, так и их диффузия через желатин.

Напряженность поля диполя в любой точке пространства можно вычислить по формуле

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^3}\sqrt{1+3\cos^2\alpha}, \quad (1)$$

где r – расстояние от мелких кристаллов до центра растущего кристалла-диполя, α – угол между радиус-вектором $\vec{r}$ и осью диполя, $p = QL$ – дипольный момент растущего кристалла, L – размер МК в начале роста. Q – заряд излома на дефектном кристалле (находится, как половина элементарного заряда $\pm e/2$), $\varepsilon = 4$ – диэлектрическая проницаемость желатины, ε_0 – электрическая постоянная.

Зависимость напряженности поля E, создаваемая растущим кристаллом от расстояния r, рассчитанная по формуле (1) в случае $\alpha = 0$ (см. *рисунок 3)*, имеет вид, представленный на *рисунке 6.*

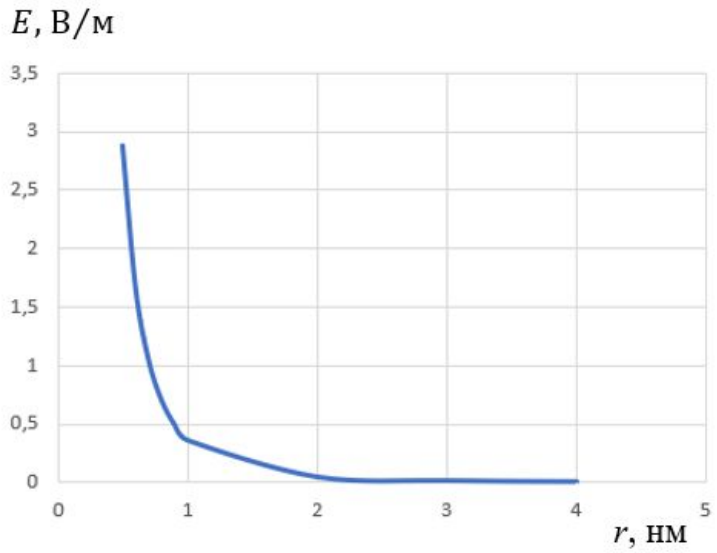

Рисунок 6 – Зависимость напряженности поля микрокристалла от расстояния

Как следует из графика, уже на расстоянии примерно 2 мм, напряженность поля, создаваемая растущим МК, равна почти нулю. Следовательно, на больших расстояниях преобладает механизм диффузии, а электростатическое взаимодействие проявляется при $r \le 2\,мм$. При наличии в этой зоне мелких кристаллов начинается интенсивный рост микрокристаллов.

Выводы

В ходе выполнения работы методом контролируемой двухструйной эмульсификации были синтезированы фотоэмульсии с плоскими нано- и микрокристаллами галогенида серебра.

С помощью атомно-силового и оптического микроскопов были сделаны фотографии растущих кристаллов в желатиновой среде.

Получена зависимость напряженности поля, создаваемая растущим микрокристаллом в желатине от расстояния, что позволило оценить зону роста.

Библиография

1. Шапиро Б.И. Теоретические начала фотографического процесса. М.: Эдиториал УССР, 2000. 288 с.
2. Основы технологии светочувствительных материалов / под ред. проф. В.И. Шеберстова. М.: Химия, 1977. 504 с.
3. Азизов И.К., Карданова З.И., Ципинова А.Х., Эржибова Ф.А. О роли фотографической желатины в формировании светочувствительности микрокристаллов галогенидов серебра // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (Ч. 16). С. 3518–3522.
4. Ципинова А.Х., Карданова З.И., Азизов И.К. Процессы формирования и роста нано- и микрокристаллов галогенида серебра в желатиновом растворе // Микро- и нанотехнологии в электронике: материалы VI международной научно-технической конференции. Нальчик, 2014. С. 73–79.
5. Ципинова А.Х., Карданова З.И., Шебзухова М.А. Дисперсионный анализ микрокристаллов галогенида серебра в фотоэмульсии // Известия КБГУ. 2023. Т. 13, № 1. С. 16–20.
6. Ларичев Т.А., Сотникова Л.В. Массовая кристаллизация в неорганических системах: учебное пособие. 2006. Кемерово, 2006. 177 с.
7. Джеймс Т.Х. Теория фотографического процесса. Л.: Химия, 1980. 672 с.
8. Гаева Г.Л. Теория образования и роста кристаллических галогенидов серебра. Л.: ЛИКИ, 1985. 100 с.