

## Ф И З И К А

УДК 535.662.2+778.68

doi: 10.31429/vestnik-15-2-94-101

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИХРОМНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОПОЛЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Шишканов О. Н., Бойченко А. П.

TECHNOLOGY POLYCHROMOUS SELECTION OF GRADIENTS OF ELECTRIC FIELD  
ON ELECTRICALLY FIELD IMAGES, RECEIVED BY SILVER PARTICLES

O. N. Shishkanov, A. P. Boychenko

Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia  
e-mail: bojchenco@yandex.ru

*Abstract.* Shown for the first time the prospect of attracting polychrome conversion technology electro-filed images (EFI), for example, silver (AgHal) film “Agfa”, which is the optical isolation of various colors of the gradients of electric field effect on the photographic material and the possible visualization of the induced field of the charges of the interfacial (interlayer) polarization. In addition, with the use of strong reducing agents based on bivalent tin, conditions have been achieved that exclude the need to use optically opaque substrates when considering polychrome EFI in reflected light. For the used X-ray photographic material “Agfa” the most effective are double and triple conversion of monochrome (black and white) EFI to polychrome. As a result of which large Ag agglomerates of 4–5 to 0,5–2,0 microns in size and consisting of colloidal metal particles of 25 to 450 nm are formed. From the data of electron microscopy it follows that during the formation of polychrome EFI Ag-particles and their agglomerates with a complex geometric structure and nano-disperse composition are formed. This creates conditions for the complex nature of the interaction with them of electromagnetic radiation of the visible range of the spectrum, depending not only on the size of the particles, but also on their shape, mutual arrangement, as well as the presence of fractions of Ag particles of other sizes.

*Keywords:* polychrome electric field image, electric field gradient, silver particles, halogen silver photographic material.

### Введение

Создание оптически активных материалов на основе серебряных (Ag) комплексов (наночастиц, пленок, молекулярных и ионных кластеров) в различных матрицах представляет огромный интерес для многих областей прикладной оптики. Так, благодаря проявлению поверхностного плазмонного резонанса у Ag-частиц уже создан лазер (спасер) на этом эффекте [1], поверхностно-плазмонный микроскоп [2], однофотонные источники света [3] и многие другие разработки. Кроме того, частицы Ag, как известно, в зависимости от размеров и формы обнаруживают селективное поглощение падающего на них света видимого диапазона спектра, что обуславливает цветное окрашивание содержащих такие частицы оптически прозрачных матриц (например, же-

латиновых, стеклянных и пр.). Данные свойства Ag-частиц были оригинально использованы авторами [4–6] для преобразования монохромных (черно-белых) изображений на галогенсеребряных (AgHal) материалах в полихромные (цветные) без применения каких-либо красителей или красящих пигментов. Согласно [6], частицы Ag размером 50–100 нм придают изображению в отраженном свете голубой оттенок, с размером 100–150 нм — желтый, в диапазоне размеров 150–200 нм — розовый, от 225 до 350 нм — зеленый, а частицы Ag с размерами более 350 нм окрашивают изображение в коричневые тона. При этом отмечено, что размеры частиц металла и их оптические свойства существенно зависят как от габитуса микрокристаллов (МК) его солей (в частности, AgHal), из которых они формируются [5, 6], так и от световой экс-

Шишканов Олег Николаевич, аспирант кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: shishkanovoleg@mail.ru.

Бойченко Александр Павлович, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: bojchenco@yandex.ru.

Таблица 1. Состав обрабатываемых растворов

* Химический компонент	Проявитель №1	Проявитель №2	Отбеливатель
Метилфенидон	0,1	–	–
Гидрохинон	3,5	–	–
Натрий сернистокислый	50	–	–
Натрий лимоннокислый 3-х замещенный	10	–	–
Натрий тетраборнокислый (бура)	6	–	–
Калий бромистый	0,4	–	–
Калий гексацианоферрат (III)	–	–	100
Натрий гидроокись	–	30	30
Бензотриазол	–	–	0,1
Олово двухлористое	–	3	–
* Весовые значения компонент даны в граммах на 1 литр дистиллированной воды			

позиции МК [5]. Последнее обстоятельство оказывается очень ценным в исследовании относительно нового для Ag-частиц эффекта, названного его первооткрывателями «электротопографическим» и заключающегося в атомно-коалесцентном процессе образования частиц Ag на поверхности МК AgHal под действием неоднородного электрического поля без какого-либо освещения [7]. На основе данного эффекта уже реализована электрополевая дефектоскопия изделий микро- и оптоэлектроники [7, 8]. Имеется перспектива его привлечения в нанотехнологиях — управлении поатомной сборкой частиц металлов в различных диэлектрических матрицах независимо от их оптических свойств, что позволит расширить технологические возможности получения изделий фотоники и оптоэлектроники. Настоящая статья посвящена первым результатам использования полихромной технологии в оптическом выделении градиентов неоднородного электрического поля на электрополевых изображениях (ЭПИ), сформированных частицами Ag на примере AgHal-фотоматериала.

## 1. Экспериментальная часть

Исследования проводились на рентгеновской фотопленке «Agfa» как обнаруживающей рекордно высокую электрополевую чувствительность [9, 10]. Этот фотоматериал содержит пластинчатые МК AgHal ядерно-лучевой структуры и линейными размерами до 500 нм [10]. На ранее описанной установке с полусферическим электродом [10] фото-

пленка экспонировалась неоднородным полем в течение 1 с при напряжении 1 кВ разной полярности в пяти повторностях. После чего образовавшиеся в экспонированных МК AgHal нанокластеры Ag восстанавливались в течение 300 с до агломератов с помощью проявителя №1 [11]. Его состав приведен в табл. 1. Далее следовало «закрепление» серебряных ЭПИ полусферического электрода по общепринятой в фотографии технологии. Как показали предварительные исследования, проявитель данного состава обеспечивает дальнейший рост Ag-нанокластеров до частиц монокристаллической формы, порой создающих друзы из таких кристаллов. По электронно-микроскопическим изображениям видно, что самые большие кристаллиты Ag достигают 900 нм (рис. 1а), то есть они оказываются соизмеримы с размерами МК своей галогенной соли в исходном фотослое. Это является одним из главных условий дальнейшего преобразования Ag-частиц в более мелкие, обладающие селективной спектрально-поглощательной способностью.

Как правило, изображения из таких частиц рассматриваются в отраженном свете, что специально требует нанесения Ag-содержащих составов на поглощающие свет подложки [4]. В настоящей работе достигнуты условия, свободные от этих требований. Они заключаются в получении нанодисперсных частиц Ag высоких концентраций в фотослое, что достигается с помощью сильных восстановителей, например, на основе двухвалентного олова. В результате падающий на фотослой свет полностью поглощается в его объеме и

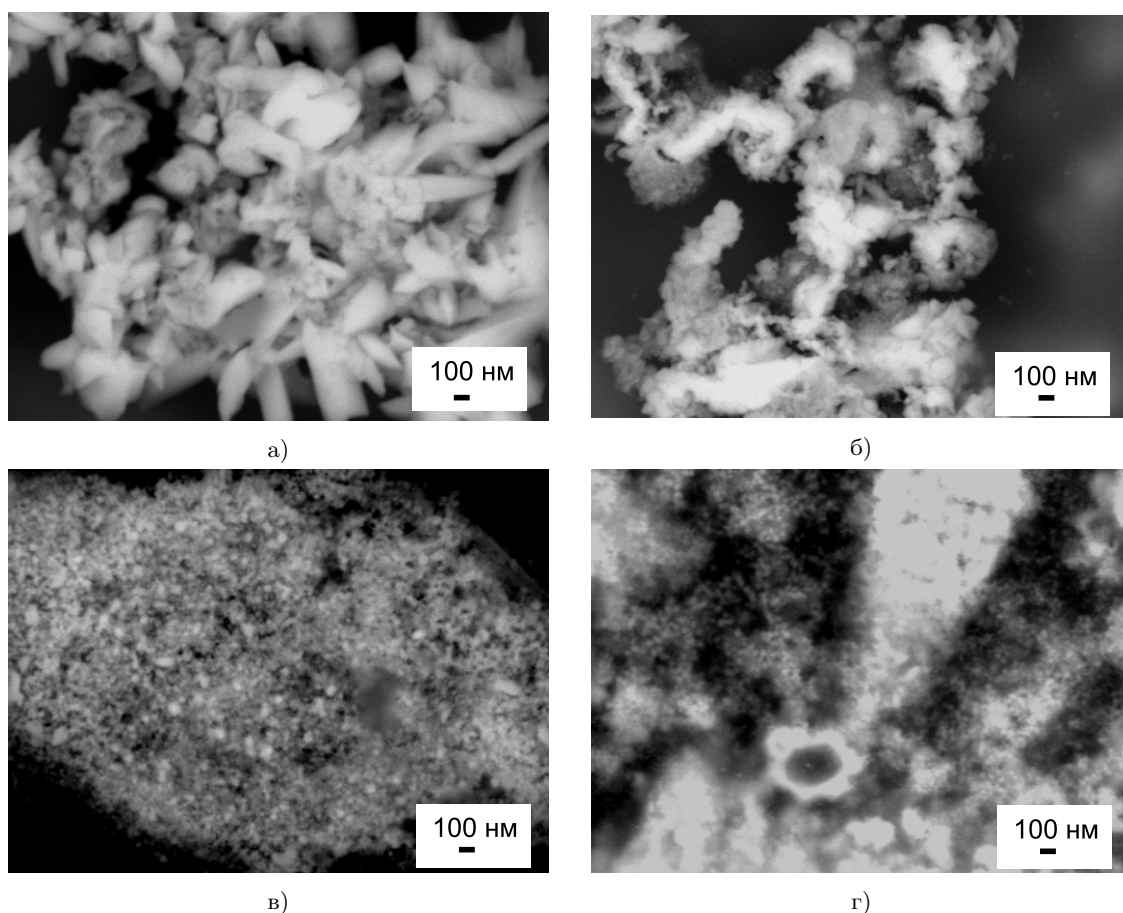


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения частиц Ag, формирующих ЭПИ: а — исходные; б — однократно преобразованные; в — двукратно преобразованные; г — трехкратно преобразованные

селективно отражается от расположенных на его поверхности наночастиц Ag или содержащих их агломератов. Описанному условию способствует наличие второго фотоэмульсионного слоя у используемой фотопленки, на котором также формируются ЭПИ.

Преобразование исходных частиц металла, «закрепленных» ЭПИ осуществлялось в два этапа. Сначала дисперсно-кристаллическое Ag изображений подвергалось окислению в отбеливающем растворе (180 с), а затем восстановлению в активном проявителе №2 на основе двухлористого олова (табл. 1) в течение 5 с. Между названными стадиями и после них следовала промывка пленки дистиллированной водой. Нами установлено, что полихромные ЭПИ наилучшего качества с визуально различимыми границами электрополевого воздействия получают при их двойном и тройном преобразовании, то есть двукратном и трехкратном окислении и восстановлении. Однако в последнем слу-

чае некоторые участки ЭПИ утрачивали однородность цветов, образуя бесформенные и разрозненно расположенные пятна другого цвета. Данные растрово-электронной микроскопии отражают причину этого явления (рис. 1б–1г). Первое преобразование разрушает кристаллическую структуру Ag. Разрушение преимущественно затрагивает кристаллы наибольших размеров, превращая их в нитевидные примерно тех же размеров и подобные образующимся при обычном химико-фотографическом процессе (рис. 1б). Такие нити поглощают свет во всем диапазоне видимого спектра. Однако успевшие сформироваться в некоторых нитях дисперсные частицы Ag размером от 200 до 300 нм обеспечивают на некоторых участках ЭПИ цветочные фрагменты красно-оранжевого и оливково-зеленого оттенков в отраженном свете. При этом какие-либо границы цветовых полей на изображениях не различаются. Повторное преобразование полихромных ЭПИ приводит

Таблица 2. Геометрические и колориметрические результаты анализа полихромных ЭПИ

№ кольца	Ширина кольца, мкм	Визуальное восприятие цвета и его название	* Доля микро-участков, %	Интенсивность цветовой составляющей		
				R	G	B
Положительная полярность						
1	24,3±2,4	«алый»	100	233	40	1
2	35,4±4,5	«цвет елки»	100	26	72	8
3	74,0±7,1	«красно-буро-оранжевый»	10	200	98	1
		«бордо (красно-бордовый)»	90	169	29	2
4	625,5±50,1	«мурена»	5	24	102	94
		«цвет елки»	60	30	77	10
		«коричный»	35	118	56	1
5	29,8±3,4	«глубокий оранжевый»	100	200	95	7
Отрицательная полярность						
1	33,3±3,0	«транспортный красный»	100	195	33	2
2	43,5±4,2	«цвет елки»	95	35	60	5
		«цвет блошиного брюшка»	5	98	31	5
3	98,0±6,1	«коричневый»	5	165	62	1
		«глубокий оливково-зеленый»	40	48	42	3
		«розовый лес»	55	95	14	1
4	333,1±25,0	«глубокий оливково-зеленый»	40	28	47	2
		«коричневый»	35	170	73	1
		«розовый лес»	25	109	22	3
5	27,1±2,9	«тициановый»	100	211	40	7
* Указаны ориентировочные величины, определенные визуально						

к разрушению нитевидного Ag и образованию из него крупных агломератов (преимущественно овальной формы), достигающих 4–6 мкм. Агломераты состоят из компактно упакованных наночастиц металла сферической формы, размерами и расстоянием между ними от 25 до 450 нм (рис. 1в). Причем, на участках ЭПИ с разным распределением электрополевого градиента и полярности доминируют частицы определенных размеров, что и обеспечивает полихромный эффект выделения таких участков. Дальнейший окислительно-восстановительный процесс дважды преобразованного ЭПИ приводит к разрушению агломератов и образованию из них новых, но меньших размеров (порядка 0,5–2,0 мкм), иногда образующих шестигранные кольца Ag, что видно из рис. 1г. Поэтому для дальнейших исследований отбирались только дважды преобразованные ЭПИ, представляющие собой при визуальном рассмотрении совокупность чередующихся колец различных цветов с четкими границами. Из-за технических возможностей типо-

графии пример такого изображения приведен в черно-белом варианте на рис. 2 с обозначением названных колец, а их геометрические и колориметрические характеристики — в табл. 2 (наименование цветового оттенка определялось и давалось по методике [12]).

Перечисленные характеристики полихромных ЭПИ оценивались при помощи оптического микроскопа по общепринятым методикам: ширина колец — с использованием объект-микрометра, а расшифровка их цветового кода — с использованием аддитивной цветовой модели RGB в программе «Photoshop». (Кроме названной программы оценка колориметрических характеристик может производиться с помощью любой другой, предназначенной для работы с изображениями). Черный фон полихромных ЭПИ, являющийся следствием полного поглощения света Ag-частицами в объеме фотослоя, исключался из анализа и в дальнейшем не учитывался. В результате на некоторых кольцах изображений удавалось выделить микроучастки, соответствующие отдельным агломератам Ag,

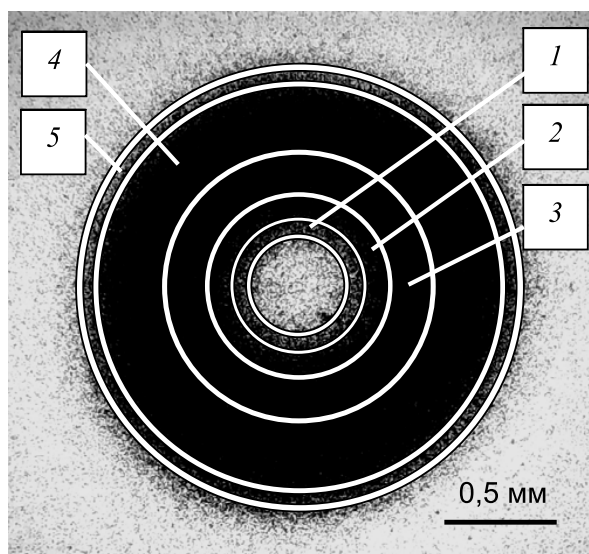


Рис. 2. Черно-белый вариант полихромного ЭПИ с обозначением цветных полей (описание в тексте)

состоящим из нанодисперсных частиц металла, которые дают разные цветовые оттенки в отраженном свете. Поэтому в таблице 2 для каждого кольца такие микроучастки указаны с индивидуальным названием цвета и долевым содержанием в общей площади кольца.

## 2. Результаты эксперимента и их обсуждение

Как видно из рис. 2, для использованного AgHal-фотоматериала и условий его электрополевой экспозиции, полученные на нем полихромные ЭПИ полусферического электрода при разно-полярном напряжении позволяют выделить в них пять областей (колец). Все они различаются по ширине, нарастающей от края электрода (светлая область в центре ЭПИ) до четвертого кольца, после которого она резко уменьшается, что соответствует пятому кольцу. Самым широким является участок, занимаемый четвертым кольцом. При напряжении положительной полярности его доля составляет 80,3 % от всего ЭПИ и 68,8 % — при напряжении отрицательной полярности. Вместе с нарастанием ширины колец отмечается тенденция в расширении цветовой палитры. Так, при разно-полярных ЭПИ микроучастки с разными цветами наблюдаются для третьего и четвертого колец, а при «отрицательном» ЭПИ — они обнаруживаются уже для второго.

Согласно [4–6] наблюдаемое явление можно объяснить следующими соображениями.

Участки фотослоя, получившие разные экспозиции, должны различаться между собой по окраске вследствие протекания на этих участках различных процессов. Так, увеличение электрополевой экспозиции начнет приводить к уменьшению размеров проявляемых частиц Ag и к увеличению их количества на единицу поверхности фотослоя. При значительных экспозициях, соответствующих в нашем случае наибольшему электрополевому градиенту, в МК AgHal создастся большое количество центров проявления, рост которых во время химического восстановления будет преимущественно осуществляться за счет ионов  $Ag^+$ , принадлежащих проявляемому кристаллику. Когда же экспозиции невелики, названные центры образуются не на всех МК. Это обеспечит условия для роста Ag-частиц за счет ионов  $Ag^+$  как принадлежащих МК AgHal с образовавшимися в них центрами проявления, так и смежными с ними кристалликами, не содержащими таких центров. В результате образуется относительно небольшое количество Ag-частиц, диаметр которых может значительно превысить диаметр МК AgHal исходной фотоэмульсии. Таким образом, возрастание экспозиции от минимальных до максимальных величин должно приводить к образованию частиц Ag, дающих в отраженном свете цветовой охват от коричневого до желтого или голубого через зеленый и розовый [13]. Минимальные экспозиции преимущественно формируют «коричневые» и/или «зеленые» частицы металла. Однако из [14]

следует, что размер частиц — не единственный фактор, определяющий цветовую палитру изображений. Дополнительными причинами его изменения при одинаковых размерах Ag-частиц могут быть их отклонение от сферичности, близкое расположение друг к другу, а также присутствие фракций других размеров.

Для использованного полусферического электрода радиусом скругления 5 мм, контактирующего с поверхностью фотоэмульсионного слоя [10], минимальный градиент электрического поля начнется в области размывания электрода с фотослоем, и при напряжении 1 кВ достигнет максимума на расстоянии, примерно равном половине радиуса электрода, после которого станет убывать [7]. В геометрических размерах это соответствует радиусу ЭПИ электрода (считая от его центра симметрии) примерно 0,7–1,0 мм. При постоянном времени экспозиции аналогично будет распределяться электрополевого воздействия на испытуемый фотоматериал. Следовательно, в первом приближении по [4–6, 13] сформированные на нем полихромные ЭПИ будут состоять из Ag-частиц, минимальное количество которых с наибольшими размерами должно располагаться на участке фотоматериала, примыкающего к электроду, а частицы металла с наименьшими размерами, но максимальной концентрацией — на приграничном с периферией участке. В первом случае это соответствует кольцам №1 и №2, а во втором — №3 и №4 (рис. 2). Тогда можно ожидать, что первое кольцо будет содержать самые большие частицы Ag, дающие в отраженном свете от коричневых до красных или розовых цветов с переходом через зеленые [13]. Для второго кольца — это могут быть от зеленых до желтых с переходом через красные или розовые. Кольца №3 и №4, попадающие в максимум электрополевого градиента, должны содержать частицы металла, дающие цветовые тона от желтого до голубого. По области своего расположения в электрическом поле пятое кольцо, вероятно, будет идентично цветам колец №1 или №2. При этом цветовой переход между кольцами не предполагает каких-либо скачков.

Однако экспериментальные данные табл. 2 оказываются справедливыми лишь для некоторых ситуаций. Начинающиеся с красных оттенков кольца №1 «разнополярных» ЭПИ резко переходят в цвета

для размеров Ag-частиц, не соответствующих возрастанию электрополевого экспозиции, а наоборот, ее уменьшению. Они имеют зеленые тона. О возрастании экспозиции для третьего кольца ЭПИ говорят лишь доминирующие на них «красно-бордовый» цвет для «положительного» изображения и «розовый лес» — для «отрицательного». Цвета четвертых колец вновь указывают на спад электрополевого градиента и его воздействия. Для полихромного ЭПИ при положительной полярности напряжения на кольце №4 доминирует «цвет елки», а при отрицательной полярности — «глубокий оливково-зеленый». Пятое кольцо, как и предполагалось, имеет близкие цветовые оттенки для колец №1 «разнополярных» ЭПИ. При положительной полярности оно окрашено в «глубокий оранжевый цвет», а при отрицательной — в «тициановый». Кроме того, вопреки предположениям, плавный переход цветов между кольцами отсутствует. Однако наблюдается наличие дополнительных к доминирующему цвету на соответствующих участках.

Из результатов анализа экспериментальных данных ясно следует более сложный характер преобразования частиц Ag монохромных (черно-белых) ЭПИ в полихромные, чем описываемый в [4–6, 13] для оптических изображений. По-видимому, для Ag-частиц полихромных ЭПИ изначально создаются условия и реализуются процессы, описанные в [14]. Кроме того, наличие в изображениях четко ограниченных колец с периодически чередующимися цветами (преимущественно красного и зеленого) вопреки предполагаемым, явно указывает не только на роль неоднородности электрического поля в формировании ЭПИ, но и электрических зарядов межфазной (межслоевой) поляризации [7]. Их определенную группировку в фотослое и плотность, очевидно, отражают как четкие очертания колец, так и периодичность их цветов. Следует отметить, что сделанные предположения справедливы исключительно для использованной в работе фотопленки «Agfa» с двусторонним эмульсионным поливом и описанной технологии преобразования на ней ЭПИ в сильном восстановителе (двухвалентное олово). Поэтому для однозначного суждения о структурных и колориметрических характеристиках полихромных ЭПИ имеющихся экспериментальных данных недостаточно. Необходимо как расширение ассор-

тимента AgHal-фотоматериалов, чувствительных к электрическому полю, так и вариантов технологии полихромного преобразования сформированных на них ЭПИ.

### Заключение и выводы

Несмотря на то, что описанная технология полихромии разрабатывалась для оптических изображений на AgHal-фотоматериалах, она, как показано в настоящей работе, успешно применима и для ЭПИ. Их полихромное преобразование позволяет четко выделить цветовой гаммой электрополевого воздействие в виде характерных участков, чего не удается сделать при анализе монохромных изображений. Обобщая результаты работы, отметим, что для электролевой фотографии на AgHal-фотоматериалах они являются первыми такого рода, как и следующие из них предварительные выводы:

1. Впервые показана перспективность привлечения полихромной технологии преобразования ЭПИ на примере AgHal-фотоэмульсии «Agfa», заключающаяся в оптическом выделении различной цветовой гаммой градиентов электрополевого воздействия на фотоматериал и возможной визуализации индуцируемых полем зарядов межфазной (межслоевой) поляризации. Кроме того, с привлечением сильных восстановителей на основе двухвалентного олова достигнуты условия, исключающие необходимость использования оптически непрозрачных подложек при рассмотрении полихромных ЭПИ в отраженном свете.

2. Установлено, что для использованного рентгеновского фотоматериала «Agfa» наиболее эффективным оказываются двойное и тройное преобразование монохромного (черно-белого) ЭПИ в полихромное. В результате чего образуются крупные агломераты Ag размером от 4–5 до 0,5–2,0 мкм и состоящие их коллоидно-дисперсных частиц металла от 25 до 450 нм.

3. Из данных электронной микроскопии следует, что в процессе формирования полихромных ЭПИ образуются Ag-частицы и их агломераты со сложным геометрическим строением и нанодисперсным составом. Это создает условия для сложного характера взаимодействия с ними электромагнитного излучения видимого диапазона спектра, зависящего не только от размеров частиц, но и от их формы, взаимного расположения, а так-

же присутствия фракций Ag-частиц других размеров.

### Литература

1. *Noginov M.A., Zhu G., Belgrave A.M. et al.* Demonstration of a spaser-based nanolaser // *Nature*. 2009. Vol. 460. P. 1110–1113.
2. *Rothenhäusler B., Knoll W.* Surface-Plasmon Microscopy // *Nature*. 1988. Vol. 332. P. 615–617.
3. *Lounis B., Moerner W.E.* Single photons on demand from a single molecule at room temperature // *Nature*. 2000. Vol. 407. P. 491–493.
4. *Свиридов В.В., Сташенок В.Д., Браницкий Г.А. и др.* Получение полихромных изображений на галогенсеребряных фотослоях // *Известия АН БССР. Сер. Химическая*. 1987. №1. С. 82–85.
5. *Сташенок В.Д., Сергеева О.В., Браницкий Г.А. и др.* О полихромных изображениях на фотослоях с различным размером эмульсионных зерен // *Известия АН БССР. Сер. Химическая*. 1987, №6. С. 94–99.
6. *Сташенок В.Д., Сергеева О.В.* О возможности регулирования окраски полихромного изображения из высокодисперсного серебра // *Известия АН БССР. Сер. Химическая*. 1990. №1. С. 107–111.
7. *Кравцов А.Е., Пипа В.А., Резников М.А., Фок М.В.* Электротопографический эффект в фотоэмульсиях и его применение // *Труды ФИАН им. П.Н. Лебедева*. 1981. Т. 129. С. 13–65.
8. *Шлишканов О.Н., Бойченко А.П.* Моделирование электролевой дефектоскопии стеклянных матриц микролинз // *Современные тенденции развития науки и технологий: Сб. науч. трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции*. Ч. 1., №6. Белгород: АПНИ, 2015. С. 79–82.
9. *Шлишканов О.Н., Бойченко А.П.* О высокой электролевой чувствительности рентгеновской фотоэмульсии «Agfa» // *Вопросы образования и науки: теоретические и методические аспекты: Сб. науч. трудов по матер. Международной научно-практической конференции*. Ч. 8. Тамбов: ООО «Консалдинговая компания Юком», 2014. С. 170–171.
10. *Шлишканов О.Н., Бойченко А.П., Яковенко Н.А.* Химико-фотографические исследования процессов электролевой коалесценции атомов серебра в микрокристаллах его галогенидов // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. 2015. №2. С. 89–100.
11. *Микулин В.П.* Фотографический рецептурный справочник. М.: Искусство, 1969. 320 с.
12. *Инструмент для подбора цветов и ге-*

нерации цветовых схем. Режим доступа: <https://colorscheme.ru/color-names.html>. (Дата обращения 26.02.2018).

13. Свиридов В.В., Браницкий Г.А., Сергеева О.В. и др. Получение полихромных изображений на фототехнических пленках с малым содержанием серебра // Журн. науч. и прикл. фотографии. 1988. Т. 33. №1. С. 71–74.
14. Сташонюк В.Д., Сергеева О.В., Артемьев М.В., Григоренко В.И. О взаимосвязи цветности и структуры полихромного серебряного изображения со спектром поглощения формирующего его серебра // Журн. науч. и прикл. фотографии. 1990. Т. 35. №4. С. 280–284.
1. Noginov M.A., Zhu G., Belgrave A.M. et al. Demonstration of a spaser-based nanolaser. *Nature*, 2009, vol. 460. pp. 1110–1113.
2. Rothenhäusler B., Knoll W. Surface-Plasmon Microscopy. *Nature*, 1988, vol. 332. pp. 615–617.
3. Lounis B., Moerner W.E. Single photons on demand from a single molecule at room temperature. *Nature*, 2000, vol. 407. pp. 491–493.
4. Sviridov V.V., Stashonok V.D., Branitskij G.A. et al. Preparation of polychrome images on halogen silver photolayers. *Izvestija AN BSSR. Ser. Himicheskaja* [Proc. of the Academy of Sciences of the BSSR. Ser. Chemical], 1987, no. 1. pp. 82–85. (In Russian)
5. Stashonok V.D., Sergeeva O.V., Branitskij G.A. et al. About polychrome images on photolayers with different sizes of emulsion grains. *Izvestija AN BSSR. Ser. Himicheskaja* [Proc. of the Academy of Sciences of the BSSR. Ser. Chemical], 1987, no. 6. pp. 94–99.
6. Stashonok V.D., Sergeeva O.V. On the possibility of color adjustment of a polychrome image from finely dispersed silver. *Izvestija AN BSSR. Ser. Himicheskaja* [Proc. of the Academy of Sciences of the BSSR. Ser. Chemical], 1990, no. 1. pp. 107–111. (In Russian)
7. Kravtsov A.E., Pipa V.A., Reznikov M.A., Fok M.V. Electrotopographic effect in photo emulsions and its application. *Trudy FIAN im. P.N. Lebedeva* [Proc. of the FIAN named P.N. Lebedev], 1981, vol. 129, pp. 13–65. (In Russian)
8. Shishkanov O.N., Bojchenko A.P. Modeling of the electric field defectoscopy of glass microlens matrices. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tehnologij: Sb. nauch. tr.* [Modern trends in the development of science and technology: Coll. of sci. works]. APNI Publ., Belgorod, 2015, pt. 1, no. 6, pp. 79–82. (In Russian)
9. Shishkanov O.N., Bojchenko A.P. On the high electric field sensitivity of the X-ray photographic film “Agfa”. *Voprosy obrazovanija i nauki: teoreticheskie i metodicheskie aspekty: Sb. nauch. tr.* [Issues of education and science: theoretical and methodological aspects: Coll. of sci. works]. “Konsaltingovaja kompanija Jukom” Publ., Tambov, 2014, iss. 8, pp. 170–171. (In Russian)
10. Shishkanov O.N., Bojchenko A.P., Jakovenko N.A. Photochemical studies processes electric-field coalescence silver atoms in microcrystals halides. *Ecological bulletin of research centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2015, no. 2. pp. 89–100. (In Russian)
11. Mikulin V.P. *Photographic prescription Directory*. Iskusstvo, Moscow, 1969. 320 p. (In Russian)
12. Tool for color matching and color scheme generation: <https://colorscheme.ru/color-names.html>. (Available date 26.02.2018). (In Russian)
13. Sviridov V.V., Branitskij G.A., Sergeeva O.V. et al. Obtaining polychrome images on photographic films with low silver content. *Zhurnal nauchnoj i prikladnoj fotografii* [Journal of Scientific and Applied Photography], 1988, vol. 33, no. 1. pp. 71–74. (In Russian)
14. Stashonok V.D., Sergeeva O.V., Artem'ev M.V., Grigorenko V.I. On the interrelation between the color and structure of a polychrome silver image with the spectrum of absorption of its silver. *Zhurnal nauchnoj i prikladnoj fotografii* [Journal of Scientific and Applied Photography], 1990, vol. 35, no. 4, pp. 280–284. (In Russian)