

Кінетики росту згустків Ag, створених лазерним світлом різних довжин хвиль на мікрокристалах AgBr

Олександр Б. Півень¹, Олег Б. Півень¹, Ю.М. Лопаткін^{2,*}

¹ Черкаський державний технологічний університет, б. Шевченко, 460, 18006 Черкаси, Україна

² Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007 Суми, Україна

(Одержано 10.07.2012; у відредагованій формі – 21.03.2013; опубліковано online 28.03.2013)

В роботі з використанням комп'ютерної моделі досліджено кінетику росту згустків Ag на мікрокристалах AgBr фотоемulsії СП-1 (чутл. 6 од.) при засвічуванні її лазерним світлом різної довжини хвилі та різної потужності ($\lambda = 490$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 633$ нм, $P = 10$ мВт; $P = 2,5$ мВт, $P = 0,98$ мВт; $\lambda = 850$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 325$ нм, $P = 3$ мВт) і встановлено, що на ріст згустків Ag ефективніше, ніж енергія квантів, впливає потужність лазерного світла.

Ключові слова: Кінетика росту, Згусток срібла, Вплив лазерного випромінювання, Кристалізація, Мікрокристал AgBr.

PACS number: 61.46. + w

1. ВСТУП

Галогеніди срібла є фоточутливими напівпровідниками [1], які широко використовуються в виробництві фотографічних емульсій [2] і також перспективні для використання в нелінійній оптиці [3]. Матеріали на основі галогенідів срібла за сукупністю фотографічних характеристик (чутливість, роздільна здатність, контрастність, збережувальність) не мають собі рівних серед інших реєструючих середовищ [4]. Проявлювані центри прихованого зображення (ЦПЗ) як кристалічні частинки срібла [2], є основними носіями інформації в фотографії. Головним фактором при виникненні фотостимульованого зародкоутворення є збільшення енергії взаємодії між атомами і молекулами, які утворюють пересичену систему в стані електронного збудження [1]. При перевищенні зростаючим срібним кластером деякого критичного розміру з'являється металічна фаза срібла.

За теорією Герні-Мотта [2] при поглинанні n фотонів відбувається n -кратне повторення реакції $e^- + Ag_0^+ \rightarrow Ag$, яке приводить до агрегації з виникненням кластера Ag_n . Енергетичних характеристик згустка срібла для великих n ця теорія не надає. Термодинамічна теорія фотографічного процесу Галашина [2, 5] не містить опису конкретного механізму агрегування срібла типу Герні-Мотта [1]. Не існує теорії, яка б кількісно описувала енергетичні характеристики мезоскопічної системи, якою є багатоатомний згусток аморфного срібла, і механізм переходу цих згустків з неупорядкованого стану у впорядкований.

Тому незважаючи на велику кількість робіт, присвячених дослідженню AgHal, дослідження кінетики росту згустків Ag під дією лазерного світла з різними енергетичними характеристиками є актуальною задачею, оскільки параметри лазерного випромінювання (довжина хвилі, потужність) впливають на енергетичні характеристики згустків срібла. Ці дані могли б бути використані при побудові теорії, яка б описувала кількісно енергетику утворення срібних згустків і їх розпад або кристалізацію під дією світла.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження застосовано комп'ютерну модель на базі фізичної моделі [6, 7]. Досліджувалась фотоемулсія для наукових і технічних цілей СП-1 чутл. 6 од. ГОСТу 2817-50, яка широко використовується при проведенні кількісного і якісного спектрального аналізу чавунів. При експонуванні фотоемулсії інтенсивним лазерним світлом спектральна світлочутливість її збільшується і поширюється в червону і інфрачервону область спектру [8].

Для проведення розрахунків при дослідженнях застосовували різні довжини світлових хвиль і потужності промислових лазерів (табл. 1).

У цих газових лазерів генерація випромінювання безперервна. Світло цих лазерів при засвічуванні даної фотоемулсії створює на ній приховане зображення.

Таблиця 1 – Параметри застосованих газових лазерів

№ лазера	Довжина світлової хвилі λ (нм)	Потужність лазера P (мВт)
1	490	10
2	633	0,98
3	633	2,5
4	633	10
5	850	10
6	325	3

За допомогою комп'ютерної моделі досліджувалась кінетика росту згустків Ag при опроміненні мікрокристалу (МК) AgBr в фотошарі різними довжинами світлових хвиль λ і різними потужностей лазерного світла P та часові залежності об'єму V згустку Ag, концентрація блукаючих іонів Ag^+ (N_i), концентрація атомів Ag (N_a), концентрації електронів (N_e), концентрації дірок (N_d), в об'ємі мікрокристалу AgBr при постійній температурі $T = 300$ К та діаметрі пучка лазерного світла 3×10^{-3} м.

Для дослідження кінетики росту згустків Ag при опроміненні МК AgBr фотошару лазерним світлом використали систему диференціальних рівнянь (1) з роботи [6].

* yu.lopatkin@gmail.com

$$\begin{cases} dn_i / dt = (\sigma_V \cdot (\xi n_h + 1) / (1 + \xi \cdot (n_i + n_h))) - (\gamma \cdot n_i / (V_m - V)); \\ dn_a / dt = (\sigma_V \cdot \xi \cdot n_i / (1 + \xi \cdot (n_i + n_h))) - (\gamma n_a 4\pi\alpha / (3V \cdot (V_m - V))); \\ dn_h / dt = \sigma_V \cdot (\xi \cdot n_i + 1) / (\xi \cdot (n_i + n_h) + 1); \\ dV / dt = (\gamma \cdot (n_i + 4\pi\alpha n_a / 3V) / n_R), \end{cases}$$

де n_i – концентрація іонів в одиниці об'єму МК AgBr, n_a – концентрація атомів в одиниці об'єму МК AgBr, n_h – концентрація дірок в одиниці об'єму МК AgBr, V – об'ємом згустку в даний момент часу, V_m – максимальний об'єм згустку, σ_V – кількість іонів срібла, які виникли під дією лазерного випромінювання в одиниці об'єму МК AgBr, $\gamma = 4\pi D k e^2 (k_b / T)$, D – коефіцієнт дифузії іонів і атомів в МК, k_b – стала Больцмана, $k = 9 \times 10^9$ м/Ф, e – заряд електрона, $\xi = \chi_{ie} \cdot \tau_e$, ξ – добуток частоти рекомбінації блукаючих іонів срібла і електронів і часу життя електрона, α – поляризованість атому срібла, n_R – концентрація атомів в частинці, яка росте.

Початкові умови для розв'язання системи рівнянь (1) були такі: $n_i = 0$, $n_a = 10^{24} \text{ м}^{-3}$, $n_h = 0$, $R = 1,44 \times 10^{-10} \text{ м}$.

Метод обчислення росту згустків срібла, запропонований в роботі [6], дав малі розбіжності з експериментом, також проведеним в [6]. Запропонований метод обчислення не вносить істотних змін в модель росту згустків срібла під дією лазерного випромінювання різних довжин хвиль і потужностей, а отже, за думкою авторів не повинен давати великих розбіжностей з експериментом.

Для лазерів з таблиці 1 обчислювалися значення σ_V , а саме: для лазера №1 $\sigma_{V490} = 7 \times 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, для лазера №2 $\sigma_{V633} = 2,3 \times 10^{27} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, для лазера №3 $\sigma_{V633} = 6 \times 10^{27} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, для лазера №4 $\sigma_{V633} = 23 \times 10^{27} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, для лазера №5 $\sigma_{V850} = 3 \times 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, для лазера №6 $\sigma_{V325} = 14 \times 10^{27} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Програма складалась з використанням мови програмування Turbo-Pascal 7.0.

Систему диференціальних рівнянь (1) розв'язували з використанням методу Рунге-Кутти четвертого порядку.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В інтервалі часу експозицій 10^{-8} - 10^{-5} с об'єм згустків срібла, як для $\lambda = 490$ нм, так і для $\lambda = 633$ нм та $\lambda = 850$ нм, малий і однаковий при потужності 10 мВт. При часу експозиції 10^{-5} с криві залежності об'єму згустків срібла від часу розділяються на три криві. Криві для $\lambda = 850$ нм, $\lambda = 633$ нм, близько розташовані, хоч потужність лазерного світла $P = 10$ мВт однакова. В інтервалі часу експозицій 10^{-5} - 10^{-1} с кристалічні згустки від квантів світла $\lambda = 490$ нм утворюються раніше, а після часу 10^{-1} с згустки залишаються сталі за величиною. Об'єм згустків срібла для світла з $\lambda = 633$ нм та $\lambda = 850$ нм і однаковою потужністю $P = 10$ мВт збільшується протягом інтервалу часу експозицій від 10^{-5} - 10^{-1} с. Більше нагрівання лазерним світлом з $\lambda = 850$ нм і $P = 10$ мВт, ніж світлом з $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 490$ нм, атомів, іонів срібла і дірок приведе до більшого їх збудження і зростання їх рухливості. Тому криві для $\lambda = 633$ нм та $\lambda = 850$ нм при однаковій потужності $P = 10$ мВт обох лазерів майже співпадають, хоч енергія фотона для $\lambda = 633$ нм рівна $E = 3,137 \times 10^{-19}$ Дж, а для $\lambda = 850$ нм менша і рівна $E = 2,3 \times 10^{-19}$ Дж. Інфрачервоне лазерне світло з $\lambda = 850$ нм більш інтенсивно нагріває аморфне срібло і напівпровідниковий МК AgBr. Рухливість іонів срібла із збільшенням температури зростає і вони можуть частіше попадати у вакантні місця, що може привести до переходу срібла в кристалічний стан. Це узгоджується з даними таблиці 2.

В інтервалі часу експозицій 10^{-8} - 10^{-5} с згустки срібла сталі за розмірами і не кристалічні, оскільки при таких часах експозиції ЦПЗ не утворюються і криві співпадають. В інтервалі часу експозиції від 10^{-5} -0 с криві утворення атомів від лазерного світла з $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 490$ нм при однаковій потужності обох лазерів $P = 10$ мВт не співпадають, а від $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 850$ нм співпадають. Кількість утворення атомів іде повільніше для $\lambda = 490$ нм і їх менше за кількістю, оскільки крива іде вище. Інфрачервоне світло з $\lambda = 850$ нм має більше теплове збудження атомів срібла, їх рухливість зростатиме, і криві для $\lambda = 633$ нм при $P = 10$ мВт і для $\lambda = 850$ нм при $P = 10$ мВт майже співпадають.

Таблиця 2 – Кінетика росту згустків Ag за даною комп'ютерною моделлю

№ п/п	Довжина хвилі (λ) лазерного світла (нм)	P – потужність лазерного світла (10^{-3} Вт)	Малий час експозиції фото-емулсії лазерним світлом (с)	Об'єм Ag згустків m^3	Діаметр Ag згустків d (10^{-10} м) в порівнянні з $d_{кр} = 10 \times 10^{-10}$ (м)	Згусток аморфний (А) або кристалічний (К) (теоретична оцінка)	Великий час експозиції фото-емулсії лазерним світлом (с)	Об'єм Ag згустків m^3	Діаметр Ag згустків (10^{-10} м) в порівнянні з $d_{кр} = 10 \times 10^{-10}$ (м)	Згусток аморфний (А) або кристалічний (К) (теоретична оцінка)
1	490	10	10^{-5}	$1,8 \times 10^{-25}$	$70 > d_{кр}$	К	0,5	4×10^{-24}	$196,8 > d_{кр}$	К
2	633	0,98		$1,0 \times 10^{-27}$	$5,76 < d_{кр}$	А		$6,7 \times 10^{-27}$	$23,4 > d_{кр}$	
3	633	2,5		$1,6 \times 10^{-26}$	$31,3 > d_{кр}$	К		$4,2 \times 10^{-25}$	$92,8 > d_{кр}$	
4	633	10		$6,2 \times 10^{-26}$	$49,1 > d_{кр}$	К		$2,8 \times 10^{-24}$	$174,8 > d_{кр}$	
5	850 (газ)	10		$8,2 \times 10^{-26}$	$53,9 > d_{кр}$	К		$3,2 \times 10^{-24}$	$182,5 > d_{кр}$	
6	S_{max} AgBr	3,0		$3,8 \times 10^{-26}$	$41,7 > d_{кр}$	К		$2,0 \times 10^{-24}$	$156,4 > d_{кр}$	

Лазерне світло з $\lambda = 633$ нм і $P = 10$ мВт також може створювати тепло, але менше, ніж інфрачервоне з $\lambda = 850$ нм $P = 10$ мВт. Збуджені атоми срібла у формі диполів притягуюватимуться до заряджених електронами згустків, збільшуючи їхній об'єм.

В інтервалі часу експозиції 10^{-8} - 10^{-2} с лазерним світлом з $\lambda = 490$ нм, $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 850$ нм з однаковою потужністю $P = 10$ мВт майже лінійно відбувається зменшення кількості іонів срібла. Лазерне світло з $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 850$ нм утворюють дещо більшу кількість іонів срібла Ag^+ , так що ці криві ідуть нижче кривої для $\lambda = 490$ нм. Криві для іонів срібла від $\lambda = 633$ нм і $\lambda = 850$ нм при однаковій потужності $P = 10$ мВт майже співпадають. В інтервалі часу експозиції 10^{-3} - 10^{-2} с для $\lambda = 490$ нм $P = 10$ мВт кількість іонів є сталою величиною, а для $\lambda = 633$ нм $P = 10$ мВт і $\lambda = 850$ нм $P = 10$ мВт лінійно зменшуються. В інтервалі часу експозиції 10^{-1} -1 с кількість іонів срібла збільшується, оскільки частина електронів витратилася на утворення атомів срібла за формулою $Ag^+ + e \rightarrow Ag$, а частина витратилася на утворення молекул Br_2 із двох атомів бромю і двох електронів з протилежними спінами, згідно [9]. Так утворився надлишок вільних іонів срібла.

Графіки утворення дірок, створених лазерними випромінюваннями з $\lambda = 633$ нм, $\lambda = 850$ нм та $\lambda = 490$ нм при однаковій потужності лазерів $P = 10$ мВт, показують, що в інтервалі часу експозиції від 10^{-8} - 10^{-3} с для трьох випромінювань відбувається лінійне зменшення кількості дірок. Квант енергії лазерного світла з $\lambda = 490$ нм, $P = 10$ мВт має більшу енергію, ніж квант світла з $\lambda = 633$ нм, $P = 10$ мВт чи $\lambda = 850$ нм. Тому кількість дірок від $\lambda = 490$ нм утворюється дещо менше, і крива іде вище кривих для $\lambda = 633$ нм, $\lambda = 850$ нм, $P = 10$ мВт. В інтервалі часу експозиції 10^{-3} - 10^{-2} с кількість дірок (атомів бромю) зменшується, оскільки із двох атомів Br утворюється молекула Br_2 . В інтервалі часу від 10^{-2} -1 с кількість дірок майже однакова, завдяки більшому збудженню дірок від тепла лазерного світла з $\lambda = 850$ нм $P = 10$ мВт (криві з $\lambda = 633$ нм, $\lambda = 850$ нм з однаковими потужностями $P = 10$ мВт майже співпадають).

При дослідженні кінетики росту об'єму згустків срібла при опроміненні лазерним світлом різної потужності і довжини світлових хвиль виявилось, що різні за потужністю і довжиною хвилі світла кванти можуть подолати термодинамічний бар'єр 5,5 еВ, і можлива кристалізація згустків срібла відбуватиметься не одночасно. В інтервалі часу експозиції 10^{-8} - 10^{-5} с об'єм срібних згустків однакокий для всіх лазерів і вони знаходяться в аморфному стані (див. таблицю 2). В інтервалі часу від 10^{-5} -0 с згустки мають об'єм, при якому можливий перехід в кристалічний стан, і збільшується найповільніше об'єм згустків для $\lambda = 633$ нм і $P = 0,98$ мВт, потім для $\lambda = 633$ нм і $P = 2,5$ мВт. Далі дещо швидше іде зростання об'єму згустків при опроміненні лазером з $\lambda = 325$ нм і потужністю $P = 3$ мВт та з найбільшою енергією кванта. Криві об'єму згустків для $\lambda = 633$ нм, $\lambda = 850$ нм майже співпадають. Найінтенсивніше зростання об'єму згустків відбувається для лазера синього світла з $\lambda = 490$ нм і потужністю

$P = 10$ мВт. Фотоемальсія СП-1 найбільш світлочутлива до синього світла. Поверхнева густина світлової енергії впливає на можливість подолання термодинамічного бар'єру кристалізації 5,5 еВ. Комп'ютерна модель обчислювала розміри згустків мінімального і максимального об'єму, які вносились в таблицю 2.

Таким чином з вищесказаного можна зробити висновки, що при попаданні квантів лазерного світла на МК AgBr відбувається одночасна взаємодія між іонами срібла і електронами, яка веде до утворення нових атомів срібла і утворення згустків срібла, утворення молекул бромю з іонізованих атомів бромю.

Згідно з [10], для утворення кристалічних срібних зародків нової фази необхідна критична кількість поглинутих фотонів. У нашому випадку збільшення кількості поглинутих фотонів приводить до збільшення кількості іонів срібла і електронів, що буде приводити до утворення більшої кількості атомів срібла $Ag^+ + e \rightarrow Ag$. Кількість аморфного срібла на поверхні МК AgBr буде збільшуватись і збільшується імовірність переходу цього срібла в кристалічний стан. А збільшення кількості ЦПЗ на поверхні МК AgBr приведе до збільшення світлочутливості.

Зростання ступеня пересичення щодо вільного срібла призводить до зниження величини термодинамічного бар'єру зародкоутворення. Це узгоджується

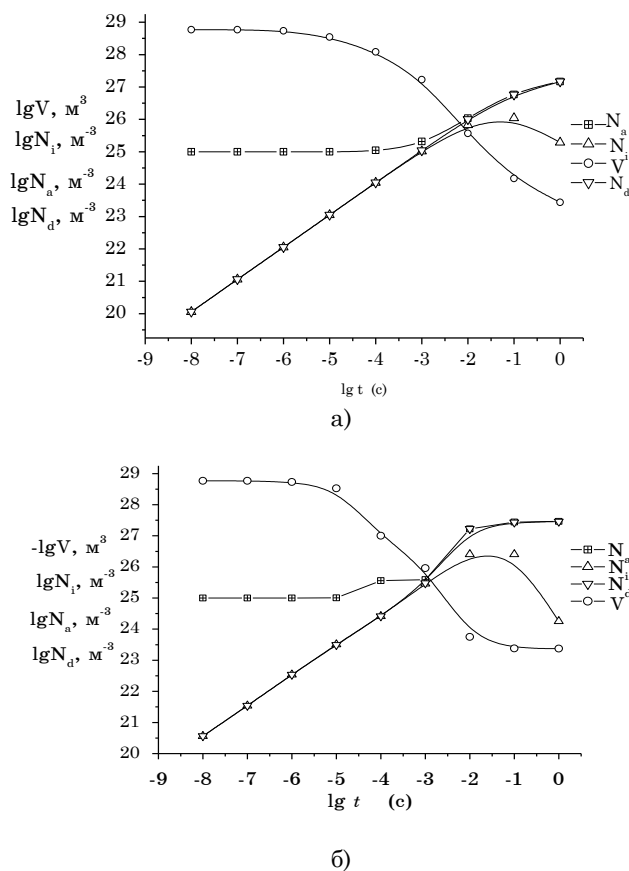


Рис. 1 – Теоретичні часові залежності концентрації іонів N_i (крива N_i), концентрації атомів N_a (крива N_a), концентрації дірок N_d (крива N_d), об'єму згустку V (крива V), для непроявлених МК AgBr при засвічуванні її лазерним світлом світловою потужністю $P = 10$ мВт з: а) $\lambda = 490$ нм б) $\lambda = 633$ нм

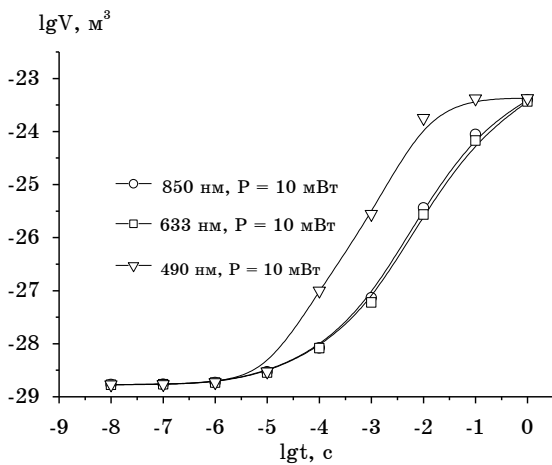
з роботою [11], в якій вказано, що термодинамічний бар'єр зародкоутворення знижується і можна очікувати утворення нової фази в пучку світла. Під дією інтенсивного лазерного світла здійснюється збудження атомів Ag і їх іонізація, згідно з [12], а електронно-збуджений стан атомів і молекул призводить до збільшення сил взаємодії між атомами, що зміщує рівновагу в напрямку утворення зародків більшого розміру аж до утворення зародків кристалічних розмірів в точці перетину чотирьох кривих, показаних на рис. 1а) і 1б).

При розгляді цих кривих виявлено їх точку перетину. В цій точці є перехід аморфного срібла в кристалічний стан.

На рис. 1а) видно, що криві об'єму згустків срібла V , атомів срібла N_a , дірок N_d , іонів срібла N_i , перетинаються в одній точці, в якій відбувається кристалізація аморфного срібла під дією лазерного світла $\lambda = 490$ нм і потужності $P = 10$ мВт. При експозиції лазерним світлом $t = 10^{-3}$ с утворюється мінімальний кристалічний згусток срібла, який швидко зростає в об'ємі.

На рис. 1б) видно, що при досягненні експозиції $t = 10^{-2}$ с лазерним світлом з $\lambda = 633$ нм і потужності $P = 10$ мВт відбувається кристалізація аморфного срібла.

Із рис. 1 а) і 1б) можна зробити висновок, що на кристалізацію при однаковій потужності світла $P = 10$ мВт впливає енергія фотонів $W = h\nu$, яка більша у лазерного світла з $\lambda = 490$ нм, і утворення мінімальних кристалічних згустків срібла починається при експозиції $t = 10^{-3}$ с раніше, ніж для світла з



$\lambda = 633$ нм при більшій експозиції $t = 10^{-2}$ с.
Рис. 2 – Кінетика росту згустків Ag, створених лазерним світлом різних довжин хвиль на МК AgBr за допомогою ПЕОМ. На рисунку показані хід кривих об'єму. Крива: 1 – відповідає $\lambda = 633$ нм $P = 10$ мВт (\square), 2 – відповідає $\lambda = 490$ нм $P = 10$ мВт (\square), 3 – відповідає $\lambda = 850$ нм $P = 10$ мВт (\square)

Це можна пояснити тим, що величина поглинутої світлової енергії 3-5 квантів аморфним сріблом забезпечує його кристалізацію і достатня для подолання термодинамічного бар'єру виникнення срібних кристалічних зародків та складає біля 5,5 еВ для $\lambda = 450$ нм [10].

На рис. 2 і 3 показано вплив кількості фотонів та потужностей лазерів на кристалізацію згустків срібла.

Для однакової довжини хвилі $\lambda = 633$ нм, але різної зростаючої потужності лазерного світла: при $P = 0,98$ мВт, об'єм згустків срібла $V_{min} = 6,7 \times 10^{-27}$ м³, $V_{max} = 4,2 \times 10^{-25}$ м³; для $P = 2,5$ мВт $V_{min} = 1,6 \times 10^{-26}$ м³, $V_{max} = 1,0 \times 10^{-24}$ м³; для $P = 10$ мВт $V_{min} = 6,2 \times 10^{-26}$ м³, $V_{max} = 2,8 \times 10^{-24}$ м³. При $P = 0,98$ мВт об'єм згустків на порядок менший, ніж при потужностях $P = 2,5$ мВт і $P = 10$ мВт. При потужності $P = 10$ мВт об'єм згустків частково більший, ніж при потужності $P = 2,5$ мВт.

Для $\lambda = 325$ нм і потужності $P = 3$ мВт об'єм згустків Ag $V_{min} = 3,8 \times 10^{-26}$ м³, $V_{max} = 2,0 \times 10^{-24}$ м³, тобто в області власної (максимальної) світлочутливості МК AgBr на об'єм згустків Ag більше впливає потужність лазерного світла, ніж кількість іонів Ag⁺ $N_i = 2,7 \times 10^{25}$ м⁻³, вільних атомів Ag₀ $N_a = 1,0 \times 10^{27}$ м⁻³. В інтервалі часу $10^{-2} - 10^{-0,5}$ с для $\lambda = 633$ нм і $P = 0,98$ мВт кількість іонів Ag⁺ $N_i = 1,2 \times 10^{25}$ м⁻³, кількість вільних атомів Ag₀ $N_a = 2,04 \times 10^{26}$ м⁻³, а для потужності $P = 2,5$ мВт кількість іонів Ag⁺ $N_i = 2,3 \times 10^{25}$ м⁻³ кількість вільних атомів Ag₀ $N_a = 4,9 \times 10^{26}$ м⁻³. Із атомів Br утворюються молекули Br₂, згідно з [9].

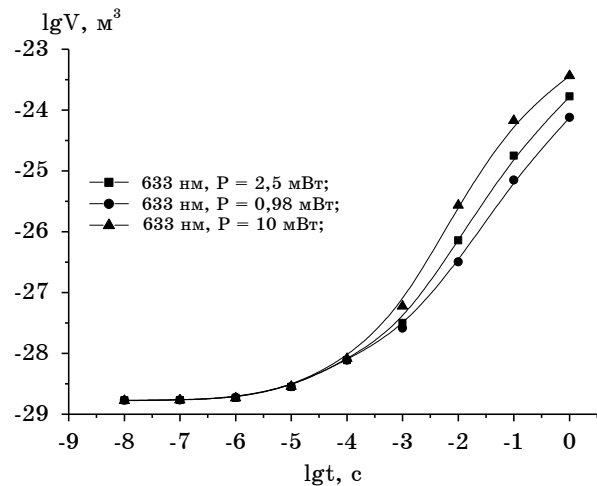


Рис. 3 – Кінетика росту згустків Ag, створених лазерним світлом різної потужності на МК AgBr за допомогою ПЕОМ. На рисунку показані хід кривих об'єму. Крива: 1 відповідає $\lambda = 633$ нм $P = 0,98$ мВт (\bullet), 2 відповідає $\lambda = 633$ нм $P = 2,5$ мВт (\blacksquare), 3 відповідає $\lambda = 633$ нм $P = 10$ мВт (\blacktriangle)

Результати кінетики росту срібних згустків для малих експозицій 10^{-5} с і при великих експозиціях $t = 0,5$ с для лазерів різної потужності і різних довжин світлових хвиль, які використовували при дослідженні, приведені в таблиці 2.

Із таблиці 2 видно, що для довжин хвиль і потужностей $\lambda = 490$ і $P = 10$ мВт, $\lambda = 633$ нм і $P = 2,5$ мВт; $\lambda = 633$ нм і $P = 10$ мВт; $\lambda = 850$ і $P = 10$ мВт; $\lambda = 325$ нм і $P = 3$ мВт для малих і великих експозицій, крім $\lambda = 633$ нм $P = 0,98$ мВт при малих експозиціях, утворюються аморфні згустки, а інші згустки срібла кристалічні, бо вони більші 10 \AA [12] в діаметрі.

4. ВИСНОВКИ

Таким чином, можна зробити такі висновки.

При дослідженні кінетики росту частинок срібла для різних довжин хвиль і потужностей лазерного випромінювання виявлено, що перехід аморфного срібла в кристалічний стан під дією лазерного світла тим більший, чим більша потужність лазера і довший час експозиції лазерного випромінювання.

При однаковій довжині хвилі лазерного випромінювання з ростом потужності спостерігається збільшення утворення згустків Ag. При $\lambda = 633$ нм най-

більше зростання згустків срібла відбувається при потужності лазерного випромінювання $P = 10$ мВт, а найменше – при потужності лазерного випромінювання $P = 0,98$ мВт.

Для однакової потужності $P = 10$ мВт і різних довжин хвиль лазерного випромінювання, $\lambda = 490$ нм, $\lambda = 633$ нм, $\lambda = 850$ нм, для часу експозиції від 10^{-8} до 10^{-6} с об'єми згустків срібла співпадають. При експозиціях від 10^{-6} до 1 с і довжині хвилі $\lambda = 490$ нм об'єм згустків срібла є максимальним.

Growth Kinetic of Ag Clots Created by Laser Light of Various Wavelength on Microcrystals AgBr

A.B. Piven¹, O.B. Piven¹, Yu.M. Lopatkin²

¹ Cherkassy state technological university, 460, Shevchenko Str., 18006 Cherkassy, Ukraine

² Sumy State University, 2, Rimsky-Korsakov Str., 40007 Sumy, Ukraine

In this paper the kinetics of the growth of Ag clusters in AgBr microcrystals of the photographic emulsion SP-1 with sensitivity 6 units GOST during illuminating with laser radiation $\lambda = 490$ nm, $P = 10$ mW; $\lambda = 633$ nm, $P = 10$ mW, $P = 2.5$ mW, $P = 0.98$ mW; $\lambda = 850$ nm, $P = 10$ mW; $\lambda = 325$ nm, $P = 3$ mW was investigated using the computer model and found that the influence of the laser light power on the growth of Ag clusters more efficiently than the photon energy.

Keywords: Growth kinetics, Clot of silver, Influence of laser radiation, Crystallization, AgBr microcrystal.

Кинетики роста сгустков Ag, созданных лазерным светом различных длин волн на микрокристаллах AgBr

А.Б. Пивень¹, О.Б. Пивень¹, Ю.М. Лопаткин²

¹ Черкасский государственный технологический университет, ул. Шевченко, 460, 18006 Черкассы, Украина

² Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова 2, 40007 Сумы, Украина

В работе с помощью компьютерной модели исследовано кинетику роста сгустков Ag на микрокристалле AgBr фотоэмульсии СП – 1 чув. 6 ед. при засвечивании их лазерными излучениями $\lambda = 490$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 633$ нм, $P = 10$ мВт; $P = 2,5$ мВт, $P = 0,98$ мВт; $\lambda = 850$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 325$ нм, $P = 3$ мВт и установлено, что на рост сгустков Ag эффективнее, чем энергия квантов, влияет мощность лазерного света.

Ключевые слова: Кинетика роста, Сгусток серебра, Влияние лазерного излучения, Кристаллизация, Микрокристалл AgBr.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. И.К. Кудрявцев, *Вестн. Моск. ун-та, Сер. 2: Химия* **45** №5, 275 (2004).
2. К.В. Чибисов, *Природа фотографической чувствительности* (Москва: Наука: 1980).
3. T. Tani, *J. Disper. Sci. Technol.* **25**, 375 (2005).
4. А.Б. Гордиенко, Н.Г. Кравченко, А.М. Седельников, *Известия высших учебных заведений. Физика*, №7, 34 (2010).
5. Е.А. Галашин, *Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук*, 38 (Москва: 1970).
6. А.М. Гусак, Б.Т. Пивень, О.Б. Пивень, *УФЖ* **38**, 141 (1993).
7. Олександр Б. Пивень, Олег Б. Пивень, Ю.М. Лопаткин, *Ж. Нано-Електрон. Фіз.* **3** №4, 88 (2011) (А.В. Piven, O.B. Piven, Yu.M. Lopatkin, *J. Nano-Electron. Phys.* **3** No4, 88 (2011)).
8. Б.Т. Пивень, О.Б. Пивень, *Вісник Черкаського університету* **5**, 45 (1998).
9. М.М. Шахрова, *Основы теории фотографических процессов* (Киев: Высшая школа: 1985).
10. К.В. Чибисов, *Общая фотография* (Москва: Искусство: 1984).
11. Е.А. Галашин, *Доклады Академии наук СССР*, **198** №6, 1361 (1971).
12. Е.П. Велихов, В.С. Летхов, *Наука и человечество* (Москва: Знание: 1982).
13. А.М. Гусак, О.Б. Пивень, *Металлофизика*, **14** №12, 83 (1992).