

О.Б. Півень<sup>1</sup>, О.Б. Півень<sup>1</sup>, Ю.М. Лопаткін<sup>2</sup>

## Дослідження лазерного ефекта Гершеля в постійному електричному полі

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет, вул. Шевченко, 460, 18006 Черкаси, Україна,  
e-mail: [abpiven@ukr.net](mailto:abpiven@ukr.net)

<sup>2</sup>Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна,  
e-mail: [yu\\_lopatkin@ukr.net](mailto:yu_lopatkin@ukr.net)

В роботі вперше встановлено, що при одночасній дії постійного електричного поля і інфрачервоного (ІЧ) світла лазера на поверхні мікрокристалу AgBr відбувається перехід аморфного срібла в кристалічне з утворенням нових центрів прихованого зображення. Кількість поглинутої енергії ІЧ-світла лазера впливає на кристалізацію аморфного срібла.

**Ключові слова:** лазерний ефект, мікрокристал AgBr, електричне поле, кристалізація аморфного срібла.

*Стаття поступила до редакції 03.06.2013; прийнята до друку 15.09.2013.*

### Вступ

Дослідження впливу електричного поля на фотографічні матеріали є актуальним, оскільки електричне поле може помітно змінювати їх світлочутливість [1]. Електричне поле може як збільшувати світлочутливість фотошарів [2, 3, 4, 5] так і зменшувати її [6]. Вплив електричного поля визначається технологією виготовлення галогенсрібних емульсій, наявністю певних концентрацій домішок в них, кількісними та часовими характеристиками електричного поля, світлового опромінення і температури. [7, 8, 9]. Нормальний лазерний ефект Гершеля (ЛЕГ) на низькочутливому фотошарі теж приводить до значного зменшення проявленої оптичної густини фотошару, але ЛЕГ створює умови для збільшення світлочутливості фотошару після наступної експозиції білим світлом [10], що зв'язано з переходами аморфна фаза – кристалічна фаза всередині світлочутливого шару. Тому накладання електричного поля в залежності від його параметрів під час неактивного засвічування може посилювати або послаблювати ЛЕГ, тобто впливати на ці фазові переходи.

Оскільки ЛЕГ обумовлений міграцією заряджених носіїв, що приводить до утворення срібних коагуляційних центрів на МК AgBr, накладання електричного поля повинне впливати на цю міграцію і на перерозподіл срібла на поверхні МК AgBr.

Вплив електричного поля повинен бути особливо

ефективним на низькочутливі емульсійні фотошари [7], при освітленні яких відносна зміна концентрації фотоелектронів і дірок в кристалах велика.

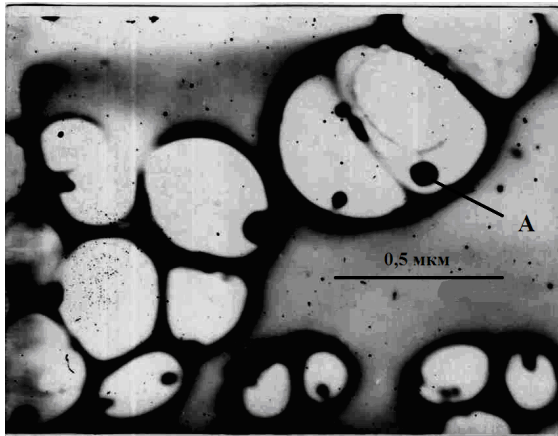
Тому для досліджень було вибрано низькочутливі фотопластинки СП-1 чутл. 6 од. ГОСТ2817-50. На цих фотопластинках також можливо отримати ЛЕГ [11].

Вплив постійного електричного поля на ЛЕГ при кімнатній температурі засобами електронної мікроскопії досліджувався. Отже, метою роботи є експериментально вивчити вплив електричного поля на ЛЕГ при одночасній дії на МК AgBr постійного електричного поля та експозиції інфрачервоним лазерним світлом з застосування електронної мікроскопії.

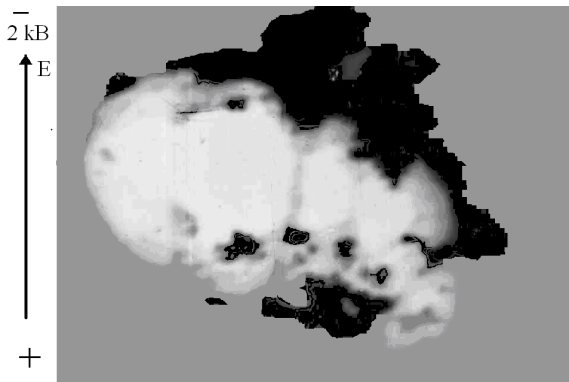
### I. Методика дослідження і експериментальні результати

Використовували низькочутливі фотопластинки СП-1 чутл. 6 од. ГОСТу 2817-50. На цих фотопластинках також можливо отримати ЛЕГ [11].

Із фотошару одержували очищені від желатини непроявлені мікрокристали (МК) AgBr, які при слабкому червоному світлі наносили на чисте предметне скельце. Предметне скельце з МК AgBr експонували білим світлом 0,5 с в сенситометрі ФСР-41. Для накладання електричного поля використовували плоский повітряний конденсатор, на пластини якого подавали постійну напругу  $U = 2$  кВ і, таким чином, створювали однорідне

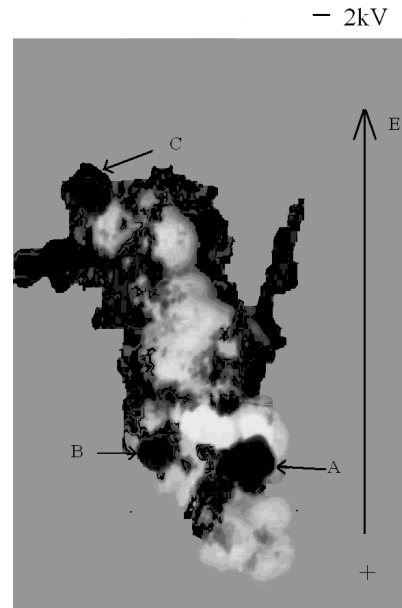


**Рис. 1.** Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з непроявленими МК AgBr і ЦПЗ, які утворилися під дією білого світла при експозиції 0,5 с без прикладання напруги  $U = 2000$  В. Збільшення  $\times 29000$ .

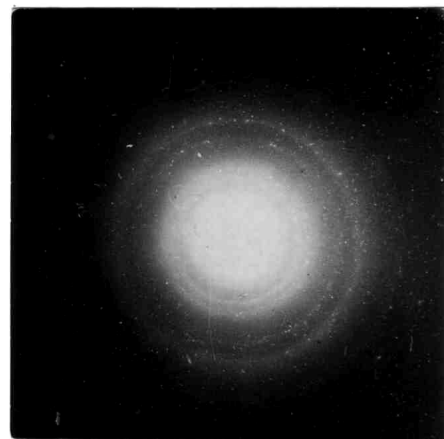


**Рис. 2.** Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з непроявлених МК AgBr для одночасної дії протягом сумарного часу імпульсів 0,6 с на МК AgBr лазерним світлом з  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м і постійного електричного поля напругою  $U = 2000$  В. Перша експозиція білим світлом 0,5 с без прикладання електричного поля і засвічування ІЧ світлом. Збільшення  $\times 45000$ .

електричне поле. Відстань між двома пластинами плоского повітряного конденсатора була  $d = 10^{-2}$  м. Пластини конденсатора розміщувалися горизонтально, а предметне скельце з МК AgBr розтошовували вертикально між пластинами. Верхня пластина конденсатора була заряджена негативно, а нижня пластина – позитивно. Для опромінення застосовували лазер з такими фізичними параметрами: довжина хвилі  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м, потужність лазерного випромінювання в імпульсі  $P = 4$  Вт при тривалості імпульсу  $2 \cdot 10^{-7}$  с і частоті слідування імпульсів  $f = 10$  кГц. Тривалість світлового імпульсу майже така, як і середній час існування збудженого електрона  $t_d = 10^{-8} - 10^{-5}$  с [7]. Оптичну потужність випромінювання лазера вимірювалась приладом ИМО-2. ІЧ світло лазера при малій його інтенсивності центри прихованого зображення (ЦПЗ) на фотошарі не створює.



**Рис. 3.** Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з непроявлених МК AgBr протягом сумарного часу імпульсів 1,8 с при одночасній дії на МК AgBr лазерного світла з  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м і постійного електричного поля напругою  $U = 2000$  В. Перша експозиція білим світлом 0,5 с без прикладання електричного поля і засвічування ІЧ світлом. Збільшення  $\times 45000$ .



**Рис. 4.** Результат дифракції електронів від частинки срібла на рис. 3 (місце А).

Сумарний час імпульсів ІЧ світла в першій серії дослідів був 0,6 с, а в другій 1,8 с. Пучок лазерного світла падав перпендикулярно до поверхні предметного скельця з МК AgBr. Отже, під час активної експозиції та накладання зовнішнього електричного поля разом з неактивною експозицією МК AgBr були вільні від желатини.

Далі на предметному скельці із ділянки з МК AgBr, експонованої послідовно білим і ІЧ лазерним світлом, виготовляли колодієві репліки, які не відтінялись вугіллям, а охолоджувались рідким азотом до і під час фотографування їх в електронному мікроскопі BS-613 фірми «Тесла» з роздільною здатністю не гірше  $4,5 \cdot 10^{-10}$  м.

На рисунках 1, 2, 3 показані електронно-мікроскопічні фотографії колодієвих реплік з непроявленими МК AgBr.

На рис. 4 приведена фотографія дифракції електронів від кристалу срібла (в місці А на рис. 3).

На рис. 1 видно непроявлені ЦПЗ, які утворилися при засвічуванні фотошару тільки білим світлом без прикладання електричного поля і світла лазера. На рис. 2, 3 показані засвічені білим світлом МК AgBr, які потім експонували світлом  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м протягом сумарного часу 0,6 с та 1,8 с, відповідно, з одночасним прикладанням електричного постійного поля напругою  $U = 2$  кВ.

## II. Обговорення експериментальних результатів

На рис. 1. видно на поверхні непроявлених МК AgBr окремі ЦПЗ, які створені тільки білим світлом без прикладання до фотошару постійного електричного поля і без додаткового засвічування ІЧ світлом лазера (місце А). Обчислений розмір ЦПЗ в місці А становить  $\approx 70 \cdot 10^{-10}$  м. Інші ЦПЗ на рис. 2 мають менший в кілька разів розмір.

Згідно з [12] ці ЦПЗ можуть проявлятися, оскільки їх розміри відносяться до діапазону  $9 \cdot 10^{-10}$  –  $100 \cdot 10^{-10}$  м.

На рис. 2 видно, що при накладанні постійного електричного поля напруженістю  $E = 20$  В/м і при сумарній дії імпульсів лазерного світла з  $t = 0,6$  с і  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м ЦПЗ, які були створені білим світлом, зникли під дією ІЧ світла лазера і накладеного постійного електричного поля. Більша частина поверхні МК AgBr вільна від мілких частинок срібла, і на поверхні МК AgBr зі сторони негативно зарядженої пластини конденсатора утворилася значна за розмірами область аморфного срібла. Утворення такої області під дією електричного поля можна пояснити скупченням в напрямку катода слабо зв'язаних іонів срібла, які пересуваються по зовнішній поверхні МК AgBr і порушенням кристалічної ґратки [12]. Кристалічних ЦПЗ, а також створення коагуляційних центрів на поверхні МК AgBr на рис. 2 не спостерігається. Значне пересичення по аморфному сріблу на поверхні МК AgBr зі сторони негативно зарядженої пластини конденсатора внаслідок значних розмірів області аморфного срібла порівняно з розмірами МК AgBr, а, отже, і значного ступеня пересичення по сріблу створює сприятливі умови для подолання термодинамічного бар'єру з утворенням кристалічних частинок срібла проявлених розмірів при опроміненні білим світлом. Цей результат можна пояснити тим, що накладання постійного електричного поля приводить до локальної пересенсибілізації емульсійних мікрокристалів [13]. Оскільки на рис. 2 не спостерігається ЦПЗ, то накладання зовнішнього постійного електричного поля напруженістю 20 В/м на попередньо експоновані 0,5 с білим світлом і очищені від

желатини МК AgBr фотошару разом з дією неактивного лазерного імпульсного світла з довжиною хвилі  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м, потужністю лазерного світла в імпульсі  $P = 4$  Вт, тривалістю імпульсу  $2 \cdot 10^{-7}$  с, частотою слідування імпульсів  $f = 10$  кГц і сумарній дії лазерного світла 0,6 с сприяє збільшенню нормального ЛЕГ.

На рис. 3 видно, що при накладанні постійного електричного поля напруженістю  $E = 20$  В/м і одночасно з дією імпульсів лазерного світла сумарною тривалістю  $t = 1,8$  с на поверхні МК AgBr область аморфного срібла також розміщена зі сторони негативно зарядженої пластини конденсатора, причому на поверхні МК AgBr частина аморфного срібла перетворилась в кристалічне з утворенням нових крупних кристалічних ЦПЗ (місця А, В, С, рис. 3). Зовнішня постійна напруга  $U = 2$  кВ та електричне поле в пучку лазерного світла діють на атоми і молекули срібла і переводять їх в стан електронного збудження валентних електронів, що приводить до збільшення енергії взаємодії між ними і переходу срібла з аморфного в кристалічний стан. При тривалому часі поглинання енергії лазерного світла аморфне срібло перетворюється в кристалічне. Знаючи масштаб збільшення на рис. 3, знаходимо, що розміри кристалів срібла становлять приблизно: в точці В –  $143 \cdot 10^{-10}$  м, в точці С –  $172 \cdot 10^{-10}$  м, в точці А –  $286 \cdot 10^{-10}$  м. Розміри цих кристалів свідчать, що всі вони більші проявленого розміру і частково зменшують проявлення. Це свідчить про те, що постійне електричне поле сприяє збільшенню нормального ЛЕГ.

На рис. 4 показано результат дифракції електронів від частинки срібла на рис. 3 (місце А). Електроннограма має кільця, характерні для срібної кристалічної частинки. Індиціювання електроннограмами показало, що кристал в місці А має кубічну гранецентровану ґратку і є кристалом срібла.

Також на рис. 2 і рис. 3 видно, що поверхня МК AgBr зі сторони позитивно зарядженої пластини конденсатора в основному є вільною від аморфного срібла. Можливою причиною цього є те, що прикладене постійне електричне поле не дає значній кількості іонів  $Ag^+$  надходити до частини МК AgBr зі сторони позитивно зарядженої пластини конденсатора і приймати участь у створенні частинок срібла на поверхні МК AgBr.

Отже, при одночасній дії на аморфне срібло ІЧ світла лазера з  $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м і потужності  $P = 4$  Вт в імпульсі та постійного електричного поля напругою  $U = 2$  кВ та сумарного часу дії імпульсів лазера 1,8 с можливий перехід аморфного срібла в кристалічний стан на поверхні МК AgBr. При цих умовах утворюються ЦПЗ, більші проявленого розміру.

## Висновки

В цій роботі за результатами досліджень можливо зробити такі висновки:

– коагуляційні центри не утворюються при накладанні постійного електричного поля

напруженістю  $E = 20$  В/м на МК AgBr і лазерного ІЧ світла ( $\lambda = 850 \cdot 10^{-9}$  м) потужністю  $P = 4$  Вт, а утворюється аморфне срібло;

– накладення зовнішнього постійного електричного поля напруженістю  $E = 20$  В/м на попередньо експоновані 0,5 с білим світлом і очищені від желатини МК AgBr фотошару СП-1 чутливістю 6 од. ГОСТ разом з дією неактивного лазерного імпульсного світла тривалістю імпульсу  $2 \cdot 10^{-7}$  с, частотою слідування імпульсів  $f = 10$  кГц і сумарній дії лазерного світла 0,6 с і 1,8 с сприяє збільшенню лазерного нормального ефекту Гершеля;

– при накладанні попередньо експоновані 0,5 с білим світлом фотопластинки, зовнішнього

постійного електричного поля напруженістю  $E = 20$  В/м та одночасної дії світла лазера 1,8 с полегшується перехід аморфного срібла в кристалічне з утворенням нових ЦПЗ більших проявлених розмірів за рахунок збільшення пересичення в областях на мікрокристалах AgBr зі сторони негативно зарядженої пластини конденсатора, що свідчить про інактивацію ЦПЗ.

**Лопаткін Ю.М.** - доктор фізико-математичних наук, професор;

**Півень О.Б.** - кандидат фізико-математичних наук, доцент;

**Півень О.Б.** – асистент.

- [1] А.А. Каргужанский, В.М. Уланов, Физика и техника полупроводников 16(2), 337 (1982).
- [2] А.Л. Диденко, Б.Д. Лемешко, В.А. Островский, ЖНиПФик 30(5), 376 (1985)
- [3] А.Л. Диденко, Б.Д. Лемешко, И.Н Мороз, Приборы и техника эксперимента 3, 83 (1985).
- [4] К. Teraoka, M. Nakamura, K. Hoshino, K. Niwa, N. Saeki, S. Watanabe, T. Tani, Journal of the Society of photographic science and technology of Japan 60(1), 37 (1997).
- [5] А.П. Бойченко, Фундаментальные исследования, Физико-математические науки 9, 951 (2012).
- [6] А.Я. Диденко, Б.Д. Лемешко, В.А. Островский, И.Н. Мороз, ЖНиПФик 30(3), 226 (1985).
- [7] П.В. Мейкляр, Физические процессы при образовании скрытого фотографического изображения (Наука, Москва, 1972).
- [8] Е.М. Гушин, Л.Н. Лебедев, С.В. Сомов, М.К. Тимофеев, Г.И. Типографшик, Журнал технической физики 62(12), 114 (1992).
- [9] Е.М. Гушин, Л.Н. Лебедев, С.В. Сомов, Г.И. Типографшик, Журнал технической физики 58(5), 922 (1988).
- [10] Б.Т. Пивень, ЖНиПФик 29(4), 304 (1984).
- [11] О.Б. Пивень, Б.Т. Пивень, ЖНиПФ, 37(3), 187 (1992).
- [12] К.В. Чиби́сов, Природа фотографической чувствительности (Наука, Москва, 1980).
- [13] М.В. Фок, М.А. Резников, А.Е. Кравцов, «Международный симпозиум «Актуальные вопросы физики и химии фотографических процессов». (Тбилиси, 1984), с. 113.

О.В. Piven<sup>1</sup>, О.В. Piven<sup>1</sup>, Yu.M. Lopatkin<sup>2</sup>

## Research Herschel of Laser Effect in a Constant Electric Field

<sup>1</sup>Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine e-mail: [abpiven@ukr.net](mailto:abpiven@ukr.net)

<sup>2</sup>Sumy State University, Sumy, Ukraine e-mail: [yu\\_lopatkin@ukr.net](mailto:yu_lopatkin@ukr.net)

For the first time it was found that the simultaneous action of the constant electric field and IR-radiation of laser causes the transition of the amorphous silver to the crystalline one with forming of the new center of the latent image at the surface of microcrystals of AgBr. The quantity of absorbed energy of the laser IR-radiation influences at the crystallization of amorphous silver.

**Keywords:** Laser Effect, Microcrystal of AgBr, Electric Field, Crystallization of Amorphous Silver.