



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129260** (13) **C2**
(51) МПК
B42D 25/324 (2014.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

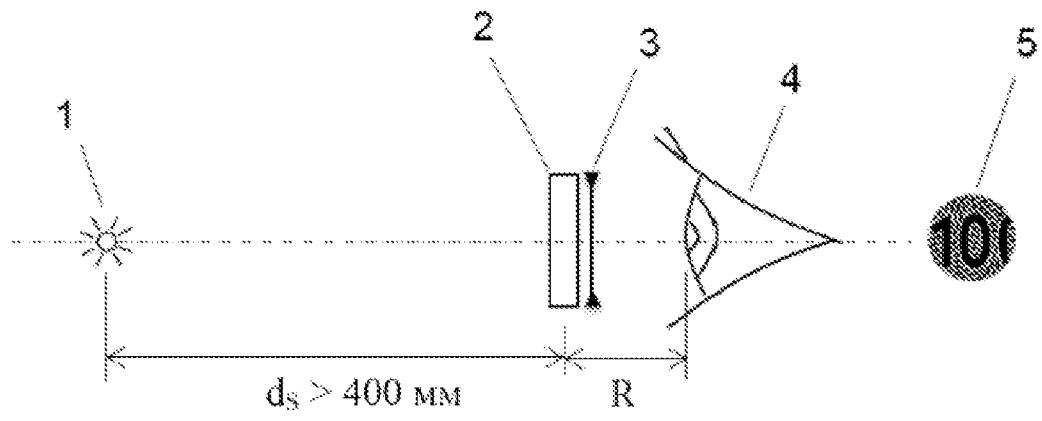
<p>(21) Номер заявки: a 2021 02292</p> <p>(22) Дата подання заявки: 04.10.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 06.03.2025</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 18198945.0</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 05.10.2018</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: EP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 23.06.2021, Бюл.№ 25</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 05.03.2025, Бюл.№ 10</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/EP2019/076943, 04.10.2019</p>	<p>(72) Винахідник(и): Каллегарі Андреа (CH), Дего П'єр (CH), Діноєв Тодор (CH), Еггер Філіпп (CH)</p> <p>(73) Володілець (володільці): СІКПА ХОЛДІНГ СА, Avenue de Florissant 41, 1008 Prilly, Switzerland (CH)</p> <p>(74) Представник: Соклаков Антон Олександрович, реєстр. №506</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: AU 2011101251 A4, 03.11.2011 EP 2963463 A1, 06.01.2016 DE 10108637 A1, 20.09.2001 US 2013066596 A1, 14.03.2013 US 2017255020 A1, 07.09.2017</p>
--	---

(54) ОПТИЧНИЙ ЗАХИСНИЙ ЕЛЕМЕНТ, МАРКОВАННИЙ ОБ'ЄКТ, ЯКИЙ МІСТИТЬ ОПТИЧНИЙ ЗАХИСНИЙ ЕЛЕМЕНТ, ТА СПОСІБ ВІЗУАЛЬНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ МАРКОВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

(57) Реферат:

Розкрито оптичний захисний елемент, який виконаний із заломного прозорого або частково прозорого оптичного матеріалу та містить оптичний вузол каустичного шару, що має поверхню для перенаправлення світла з рельєфним візерунком заданої глибини та фокусну відстань f_c , та прилеглого лінзоподібного елемента з фокусною відстанню f_L , причому оптичний вузол виконаний з можливістю перенаправлення падаючого світла, прийнятого від точкового джерела світла через нього, та формування проєктованого зображення, що містить каустичний візерунок, безпосередньо на сітківці ока спостерігача. Крім того, розкрито маркований об'єкт, а також спосіб візуальної автентифікації об'єкта та застосування оптичних захисних елементів для автентифікації або захисту від підробки.

UA 129260 C2



Фиг. 1

Даний винахід відновиться до галузі заломних або відбивних оптичних захисних елементів, здатних проектувати каустичні візерунки при прийнятному освітленні, а також до способу та застосування таких оптичних захисних елементів для автентифікації або захисту від підробки.

Передумови винаходу

5 Існує необхідність у захисних ознаках на об'єктах, які можуть бути автентифіковані так званою "людиною на вулиці" з використанням загальнодоступних засобів. Ці засоби включають використання п'яти почуттів – в основному, зір і дотик – плюс використання широко розповсюджених інструментів, таких як, наприклад, мобільний телефон.

10 Деякими розповсюдженими прикладами захисних ознак є експертні волокна, нитки або фольга (вбудовані у підкладку, наприклад, у папір), водяні знаки, елементи глибокого друку або мікродруку (можливо, друку на підкладці оптично змінними фарбами), які можна виявити на банкнотах, кредитних картах, посвідченнях особи, квитках, сертифікатах, документах, паспортах тощо. Ці захисні ознаки можуть включати оптично змінні фарби, невидимі фарби або люмінесцентні фарби (флуоресціюючі або фосфоресціюючі при прийнятному освітленні

15 конкретним джерелом світла збудження), голограми та/або ознаки, що виявляються на дотик. Основним аспектом захисної ознаки є те, що вона має деяку фізичну властивість (оптичний ефект, магнітний ефект, структуру матеріалу або хімічний склад), яку дуже важко підробити, тому об'єкт, маркований такою захисною ознакою, можна надійним чином визнати справжнім, якщо вказану властивість можна побачити або виявити (візуально або за допомогою

20 конкретного пристрою).

Однак, коли об'єкт є прозорим або частково прозорим, явні, загальновідомі ознаки можуть не бути прийнятними. Фактично, прозорі об'єкти часто вимагають, щоб захисний елемент, що має необхідні захисні ознаки, не змінював свою прозорість або свій зовнішній вигляд ні з естетичних, ні з функціональних причин. Відомі приклади можуть включати блістери та флакони

25 для фармацевтичних продуктів. Наприклад, останнім часом у дизайн полімерних та гібридних банкнот включають прозоре вікно, створюючи тим самим потребу у захисних ознаках, які сумісні з ним.

Більшість існуючих захисних ознак захисних елементів для документів, банкнот, захищених

30 квитків, паспортів тощо не були спеціально розроблені для прозорих об'єктів/областей і, як такі, не підходять для такого застосування. Інші ознаки, наприклад, одержані за допомогою невидимих і флуоресцентних фарб, вимагають спеціальних інструментів для збудження та/або інструментів для виявлення, які можуть бути недоступні "людині на вулиці".

Відомі напівпрозорі оптично змінні ознаки (наприклад, рідкокристалічні покриття або сховані

35 зображення від поверхневих структур), які можуть забезпечувати таку функціональність. На жаль, маркування, що включає такі захисні ознаки, як правило, можна побачити на темному/однорідному фоні, щоб ефект був більш помітним.

Рішення для прозорих вікон банкнот описано, наприклад, в Guardian™ "Security Features Reference Guide", 2 випуск, травень 2013 р. Більшість розкритих захисних ознак заважають

40 прозорості вікна. Одна з них (Eclipse®) цього не робить. Це дифракційний пристрій, який виявляє сховане зображення, якщо дивитися через прозоре вікно на яскраве точкове джерело світла.

Дифракційні захисні ознаки, такі як Eclipse®, страждають рядом недоліків, включаючи

45 сильну хроматичну аберацію, необхідність у яскравому джерелі світла та наявність дифракції нульового порядку (тобто залишкового світла від джерела) у проєктованому зображенні.

Іншими відомими ознаками є дифракційні оптичні елементи, використовувані у режимі

50 відбиття або у режимі пропускання для проєктування візерунка на екрані, такі як неметалізовані поверхневі голограми. Недоліком цих ознак є те, що вони демонструють дуже низький контрастний візуальний ефект при безпосередньому перегляді. Крім того, при використанні у комбінації із джерелом монохроматичного світла для проєктування візерунка їм, як правило, потрібен лазер для одержання задовільного результату. Крім того, для забезпечення чітко

55 видимого оптичного ефекту потрібно досить точно відносно просторове розташування джерела світла, дифракційного оптичного елемента й очей користувача.

Наприклад, гравіровані лазером мікротекст та/або мікрокоди були використані для,

60 наприклад, скляних флаконів. Проте, їм необхідні дорогі інструменти для їхньої реалізації та спеціальний збільшувальний інструмент для їхнього виявлення.

Отже, метою даного винаходу є подолання недоліків попереднього рівня техніки та створення оптичних захисних елементів, які виконані із заломного прозорого або частково

65 прозорого оптичного матеріалу або містять поверхню для перенаправлення світла каустичного шару, при цьому оптичні захисні елементи можуть бути легко автентифіковані візуально людиною без використання будь-яких додаткових засобів (тобто неозброєним оком) або

типових засобів, що перебувають у вільному доступі, наприклад, простого точкового джерела світла, такого як сонце, вуличний ліхтар, фотоспалах смартфона тощо (джерело світла вважається "точковим", якщо його кутовий розмір менше або дорівнює 1°).

5 Ще однією метою даного винаходу є створення оптичного захисного елемента, який легко виготовляти у великих кількостях або який є сумісним із процесами серійного виробництва. Крім того, освітлення оптичного захисного елемента також повинне бути можливим за допомогою засобів, що перебувають у вільному доступі (наприклад, джерела світла, такого як світлодіод мобільного телефону або сонце), й умови для гарного візуального спостереження користувачем (спостерігачем) не повинні вимагати занадто строгого відносного просторового розташування джерела світла, оптичного захисного елемента й очей спостерігача.

10 Інакше кажучи, виконувана користувачем (спостерігачем) маніпуляція при перевірці наявності захисної ознаки повинна бути як можна більш простою, а рішення повинне бути сумісним із самим широким діапазоном умов використання.

15 Ще однією метою даного винаходу є створення маркованого об'єкта, який містить оптичний захисний елемент, який має захисні ознаки, які можуть бути легко автентифіковані візуально людиною без використання будь-яких додаткових засобів (тобто неозброєним оком) або типових засобів, що перебувають у вільному доступі (наприклад, проста збільшувальна лінза або точкове джерело, наприклад, світлодіод мобільного телефону).

20 Ще однією метою даного винаходу є створення ефективного способу візуальної автентифікації об'єкта, маркованого оптичним захисним елементом, який виконаний із заломного прозорого або частково прозорого оптичного матеріалу або містить відбивну поверхню для перенаправлення світла каустичного шару.

25 Ще однією метою даного винаходу є створення оптичного захисного елемента для застосування при автентифікації або захисту від підробки.

Короткий опис винаходу

30 Згідно із одним аспектом даний винахід відноситься до оптичного захисного елемента, який виконаний із заломного прозорого або частково прозорого оптичного матеріалу та містить оптичний вузол каустичного шару, який має поверхню для перенаправлення світла з рельєфним візерунком заданої глибини та фокусну відстань f_c , та прилеглого лінзоподібного елемента з фокусною відстанню f_L , причому оптичний вузол виконаний з можливістю перенаправлення падаючого світла, прийнятого від точкового джерела світла через нього, та формування проєктованого зображення, що містить каустичний візерунок, безпосередньо на сітківці ока спостерігача, який дивиться на точкове джерело через оптичний захисний елемент.

35 Відносно поширення світла слід також відмітити, що альтернативно порядок: джерело \rightarrow каустичний шар \rightarrow лінза може бути змінений як: джерело \rightarrow лінза \rightarrow каустичний шар (відомий еквівалент у класичній оптиці).

40 Оптичний захисний елемент не змінює прозорість прозорого або частково прозорого об'єкта або прозорого вікна, включеного в об'єкт. Він також переважно спрощує маніпуляцію та гарне візуальне спостереження з боку користувача (спостерігача) при перевірці наявності захисної ознаки та сумісний із процесами серійного виробництва.

45 Прозорий аспект заломного оптичного захисного елемента робить його особливо придатним для маркування щонайменше частково прозорих підкладок (наприклад, скляних або пластикових пляшок, кришок від пляшок, стекла для годинників, ювелірних виробів, дорогоцінних каменів тощо). Переважно заломний оптичний захисний елемент є прозорим (або частково прозорим) для видимого світла (тобто для довжин хвиль світла від приблизно 380 нм до приблизно 740 нм).

Оптичний захисний елемент згідно із даним винаходом містить одне з наступного:

50 а) каустичний шар з позитивною фокусною відстанню ($f_c > 0$) та лінзоподібний елемент з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$), або

б) каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_c < 0$) та лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$).

Переважно, відношення між фокусною відстанню лінзоподібного елемента та фокусною відстанню каустичного шару задовольняє наступне рівняння:

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1} \geq d_R$$

55 **де:**

R являє собою відстань від каустичного шару до ока спостерігача;

d_S являє собою відстань від точкового джерела світла до оптичного захисного елемента; та

d_R являє собою комфортну для читання відстань від ока, яка становить щонайменше 25 см.

Позитивна фокусна відстань вибрана таким чином, щоб дорівнювати або бути більше абсолютного значення негативної фокусної відстані.

Негативна фокусна відстань може становити у діапазоні від -15 мм до -125 мм, та переважно – від -30 мм до -50 мм.

5 Наприклад, каустичний шар має негативну фокусну відстань f_c , яка становить у діапазоні від -30 мм до -50 мм, та об'єднаний з лінзоподібним елементом, що має відповідну позитивну фокусну відстань f_L , яка становить у діапазоні від 30 мм до 50 мм, при цьому лінзоподібний елемент являє собою плоско-опуклу лінзу.

10 Оптичний захисний елемент згідно із даним винаходом використовується для маркування об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти.

Згідно з іншим аспектом даний винахід відноситься до оптичного захисного елемента, який містить відбивну поверхню для перенаправлення світла оптичного вузла, сформованого каустичним шаром, який має рельєфний візерунок заданої глибини та фокусну відстань f_c , та прилеглим шаром оптичного матеріалу з фокусною відстанню f_L , при цьому вказаний оптичний вузол виконаний з можливістю перенаправлення падаючого світла, прийнятого від точкового джерела світла, та формування проєктованого зображення, що містить каустичний візерунок, безпосередньо на сітківці ока спостерігача.

Згідно із даним винаходом оптичний захисний елемент містить одне з наступного:

20 а) каустичний шар з позитивною фокусною відстанню ($f_C > 0$) та шар оптичного матеріалу з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$), або

б) каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_C < 0$) та лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$).

Переважно, відношення між фокусною відстанню шару оптичного матеріалу та фокусною відстанню каустичного шару задовольняє наступне рівняння:

25
$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1} \geq d_R$$

де:

R являє собою відстань від каустичного шару до ока;

d_S являє собою відстань від точкового джерела світла до оптичного захисного елемента; та

d_R являє собою комфортну для читання відстань від ока, яка становить щонайменше 25 см.

30 Оптичний захисний елемент згідно із даним винаходом використовується для маркування об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти.

Згідно з ще одним аспектом даний винахід відноситься до маркованого об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти, який містить оптичний захисний елемент із захисними ознаками, які можуть бути легко автентифіковані візуально людиною або без використання будь-яких додаткових засобів (тобто неозброєним оком), або з використанням типових засобів, що перебувають у вільному доступі (наприклад, просте загальнодоступне точкове джерело світла).

Згідно з ще одним аспектом даний винахід відноситься до способу візуальної автентифікації об'єкта, маркованого оптичним захисним елементом, описаним у даному документі, спостерігачем, що включає етапи, на яких:

- освітлюють поверхню для перенаправлення світла оптичного захисного елемента точковим джерелом світла на відстані d_S від поверхні для перенаправлення світла;

- візуально спостерігають віртуальне зображення каустичного візерунка на відстані d_i від оптичного захисного елемента; та

45 - вирішують, чи є об'єкт справжнім, при оцінці спостерігачем того, чи є каустичний візерунок візуально схожим на еталонний образ.

Згідно з ще одним аспектом даний винахід відноситься до застосування оптичного захисного елемента, як описано у даному документі, для автентифікації або захисту від підробки об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти.

50 Далі даний винахід буде описано більш повно з посиланням на прикладені креслення, на яких однакові цифри представляють однакові елементи на різних фігурах і на яких проілюстровані основні аспекти й ознаки даного винаходу.

Короткий опис креслень

55 На фіг. 1 представлено схематичну ілюстрацію оптичної конфігурації оптичного захисного елемента згідно із одним аспектом даного винаходу, де каустичний шар має позитивну фокусну відстань ($f_c > 0$), а лінзоподібний елемент має негативну фокусну відстань ($f_L < 0$).

На фіг. 2 представлено схематичну ілюстрацію оптичної конфігурації оптичного захисного елемента згідно із одним аспектом даного винаходу, де каустичний шар має негативну фокусну відстань ($f_c < 0$), а лінзоподібний елемент має позитивну фокусну відстань ($f_L > 0$).

На фіг. 3 проілюстровано схематичну установку, використовувану для запису фізичних зображень згідно з оптичною конфігурацією, проілюстрованою на фіг. 1.

На фіг. 4 проілюстровано схематичну установку, використовувану для запису фізичних зображень із використанням каустичного шару з негативною фокусною відстанню, з'єданого з позитивною лінзою.

На фіг. 5 та фіг. 6 показано приклади зображень, одержаних за допомогою вищезгаданої установки з використанням позитивного каустичного шару, виготовленого для проектування каустичного зображення на поверхню на відстані 40 мм за оптичним захисним елементом ($f_c=40$ мм), з'єданого з негативними лінзоподібними елементами, що мають $f_L = -30$ мм та $f_L = -50$ мм, відповідно.

На фіг. 7 та фіг. 8 показано приклади зображень, одержаних за допомогою установки, описаної на фіг. 4, у якій використовують копію з негативною фокусною відстанню ($f_c = -40$ мм) каустичного оптичного елемента, використовуваного на фіг. 5 та фіг. 6, та з'єднують із позитивними лінзоподібними елементами, що мають фокусні відстані $f_L=40$ мм та $f_L=50$ мм, відповідно.

На фіг. 9 показано приклади можливих оптичних захисних елементів, що включають: а) елемент із позитивним каустичним шаром 2 з окремими позитивними елементарними лінзами 8 з окремим негативним лінзоподібним елементом 3, б) елемент із каустичним шаром 2 і із задньою поверхнею, що являє собою негативний лінзоподібний елемент 3, с) каустичний шар 2 на поверхні негативного лінзоподібного елемента 3 (сума обох поверхонь).

На фіг. 10 показано приклади можливих оптичних захисних елементів, що включають: а) елемент із негативним каустичним шаром 2 та окремим позитивним лінзоподібним елементом 3, б) елемент із негативним каустичним шаром 2 і із задньою поверхнею, що являє собою позитивний лінзоподібний елемент 3, с) негативний каустичний шар 2 на поверхні позитивного лінзоподібного елемента 3 (сума обох поверхонь).

На фіг. 11 та фіг. 12 проілюстровано оптичні схеми створення зображення на сітківці ока за допомогою групи елементарних лінз каустичного шару оптичного захисного елемента, при цьому каустичний шар з позитивною фокусною відстанню ($f_c > 0$) та лінзоподібний елемент з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$) є об'єднаними.

На фіг. 13 та фіг. 14 показано оптичні схеми створення зображення на сітківці ока за допомогою групи елементарних лінз каустичного шару оптичного захисного елемента, при цьому каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_c < 0$) та лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$) є об'єднаними.

На фіг. 15 та фіг. 16 показано оптичну установку та змодельовані (із трасуванням променів) зображення, створювані оптичним захисним елементом, який має позитивний каустичний шар з $f_c=40$ мм, прилеглий до негативної лінзи з $f_L = -40$ мм, і він розташований на відстані 25 мм від моделі ока з діаметром райдужної оболонки 3 мм та 5 мм, відповідно.

На фіг. 17 та фіг. 18 показано змодельовані (із трасуванням променів) зображення, створювані оптичним захисним елементом, який має негативний каустичний шар з $f_c = -40$ мм, прилеглий до позитивної лінзи з $f_L=40$ мм, і він розташований на відстанях 25 мм та 40 мм відповідно від моделі ока з фіксованим діаметром райдужної оболонки 3 мм.

На фіг. 19 та фіг. 20 показано зображення, створювані оптичним елементом, який має каустичний шар з $f_c = -40$ мм та лінзоподібний елемент з $f_L=45$ мм, при цьому каустичний шар з негативною фокусною відстанню накладається на лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню.

Докладний опис

У цьому описі використовуються кілька термінів, які визначені далі нижче.

В оптиці термін "каустика" відноситься до обвідної світлових променів, відбитих або заломлених однією або більше поверхнями, щонайменше одна з яких є вигнутою, а також до проекції таких світлових променів на іншу поверхню. Більш конкретно, каустика являє собою криву або поверхню, дотичну до кожного світлового променя, що визначає межу обвідної променів як криву концентрованого світла. Наприклад, світловий візерунок, утворений сонячними променями на дні басейну, являє собою каустичне "зображення" або візерунок, сформований єдиною заломною поверхнею для перенаправлення світла (хвилястою поверхнею розділу повітря-вода), у свою чергу, світло, що проходить через вигнуту поверхню рідкого скла, створює гострий візерунок на столі, на якому лежить рідке скло, при його перетинанні двох або більше поверхонь (наприклад, повітря-скло, скло-вода, повітря-вода тощо), які перенаправляють його шлях.

Підкладка з оптичного матеріалу, використовувана для виготовлення оптичного (захисного) елемента, являє собою, наприклад, підкладку з вихідного матеріалу, поверхня якої спеціально

сформована, наприклад, механічно оброблена так, щоб мати рельєфний візерунок і, таким чином, формувати поверхню для перенаправлення світла. Форма підкладки з оптичного матеріалу може також бути оброблена за допомогою процесу копіювання, такого як тиснення, формування, лиття під впливом УФ-випромінювання тощо.

5 Придатна підкладка з оптичного матеріалу для заломного оптичного елемента для перенаправлення світла повинна бути оптично прозорою, прозорою або щонайменше частково прозорою та механічно стійкою. Для мети даного винаходу, тобто забезпечення оптичного захисного елемента, здатного створювати візуально розпізнаваний каустичний візерунок, прозорий або частково прозорий матеріал фактично відповідає матеріалу з низькою мутністю (Н) і високим коефіцієнтом пропускання (Т), так що дифузія світла не погіршує формування візуально розпізнаваного каустичного візерунка. Як правило, коефіцієнт пропускання $T > 50\%$ є переважним, а $T > 90\%$ є найбільш переважним. Крім того, можна використовувати низьку мутність $H < 10\%$, але $H < 3\%$ є переважним, а $H < 1\%$ є найбільш переважним. Придатна підкладка з оптичного матеріалу також повинна поводитися правильно під час процесу формування (наприклад, механічної обробки), щоб забезпечити гладку та бездефектну поверхню. Прикладом придатної підкладки є оптично прозора пластина з РММА (також відома під комерційними назвами Plexiglas, Lucite, Perspex тощо).

У випадку відбивної поверхні для перенаправлення світла підкладка з оптичного матеріалу не обов'язково є однорідною або прозорою. Наприклад, матеріал може бути непрозорим для видимого світла (відбивну здатність потім одержують шляхом класичної металізації механічно обробленої поверхні). Прикладом придатної підкладки є метал, такий як ті, які використовуються для виготовлення оригіналів нарізних дифракційних ґрат і лазерних дзеркал, або невідбивна підкладка, яка може бути додатково металізована.

У цьому варіанті здійснення термін "лінзоподібний елемент" може бути або відбивним каустичним шаром (як, наприклад, "дзеркальний" шар), нанесеним на поверхню підкладки, або може бути заломним каустичним шаром, нанесеним на відбивну поверхню підкладки (передавальний елемент).

"Поверхня(-і) для перенаправлення світла" являє (являють) собою поверхню (або поверхні) оптичного захисного елемента, відповідальну(-і) за перенаправлення вхідного світла від джерела на проєкційну поверхню, де формується каустичний візерунок. Згідно із даним винаходом проєкційна поверхня є сітківкою ока спостерігача, як буде описано у даному документі далі.

Термін "каустичний візерунок" (або "каустичне зображення") відноситься до світлового візерунка, сформованого на проєкційній поверхні, коли оптична поверхня придатної форми (тобто що має прийнятний рельєфний візерунок) перенаправляє світло від придатного (переважно, але не обов'язково точкового) джерела, щоб відвести його від деяких областей проєкційної поверхні й сконцентрувати його на інших областях проєкційної поверхні в попередньо визначеному світловому візерунку (тобто, таким чином, формуючи вказаний "каустичний візерунок"). Перенаправлення відноситься до зміни шляху світлових променів від джерела за наявності оптичного елемента відносно шляху від джерела до проєкційної поверхні за відсутності оптичного елемента. Згідно із даним винаходом розглянута проєкційна поверхня являє собою сітківку людського ока.

У свою чергу, під вигнутою оптичною поверхнею буде матися на увазі "рельєфний візерунок", а під оптичним елементом, обмеженим цією поверхнею, буде матися на увазі оптичний захисний елемент. Слід зазначити, що каустичний візерунок може бути результатом перенаправлення світла більш ніж однією вигнутою поверхнею та більш ніж одним об'єктом, хоча, можливо, ціною підвищеної складності. Крім того, рельєфний візерунок для створення каустичного візерунка не слід плутати з дифракційним візерунком (як, наприклад, у захисних голограмах). Згідно із переважним варіантом здійснення даного винаходу максимальна глибина рельєфного візерунка оптичного захисного елемента становить < 250 мкм або більш переважно < 30 мкм, при цьому вона перевищує межу, накладену ультраточною механічною обробкою (UPM) і процесом відтворення, тобто приблизно $0,2$ мкм. Згідно із цим описом під різницею висот між найвищою та найнижчою точкою у рельєфному візерунку на поверхні для перенаправлення світла мається на увазі глибина рельєфу.

Каустичні елементи, як правило, виготовляються для проєктування світлового візерунка на екран за елементом. Для ілюстрації концепції даного винаходу каустична поверхня може бути змодельована як сукупність невеликих лінзоподібних елементів, тобто "елементарних лінз", що спільно визначають поверхню. Таким чином, у цій іграшковій моделі каустичну поверхню можна представити як сукупність позитивних елементарних лінз із фокусною відстанню, наприклад, приблизно 40 мм. Це відстань, на якій каустичне зображення формується в проєкції при

освітленні колімованим променем. Фактично, захисний елемент являє собою оптичний вузол каустичного шару (що має каустичну поверхню з рельєфним візерунком) і передавального елемента для перенаправлення падаючого світла. Передавальний елемент може бути лінзоподібним елементом (або множиною коаксіальних лінзоподібних елементів) або простим опорним елементом, можливо відбивним, на який нанесено каустичний шар.

Для реальних прикладів каустичні шари використовуються у даному винаході в об'єднанні з відповідними лінзами (тобто передавальними елементами), щоб одержати зображення, яке формується безпосередньо на сітківці ока спостерігача. Ці каустичні шари можуть бути двох типів:

- "позитивні", коли вони здатні (взяті окремо) формувати реальне каустичне зображення, що проектується на поверхню, при освітленні точковим джерелом світла;

- "негативні", коли вони здатні формувати віртуальне зображення (з тієї ж сторони від джерела світла).

В обох вищезазначених випадках (позитивні і негативні каустичні шари) зображення зазвичай формується на відстані (d_i) декількох см від оптичного елемента; наприклад, на відстані 40 мм, коли джерело є нескінченно віддаленим (тобто $d_s \gg d_i$). Це значення називається в даному документі "фокусною відстанню" (f_c) каустичного шару, за аналогією з випадком класичної лінзи. Якщо задана поверхня каустичного шару проектує реальне каустичне зображення, додаткова поверхня буде проектувати ідентичне, але віртуальне зображення, і навпаки. Фокусна відстань двох поверхонь також буде мати однакове абсолютне значення (і протилежний знак). У наведених нижче прикладах використовуються як позитивні, так і негативні каустичні поверхні.

Звертаючись до зображень, лінза (як передавальний елемент) перетворить реальне зображення, що проектується каустичним елементом, у віртуальне зображення на прийнятній для читання відстані, так що зображення створюється безпосередньо на сітківці ока при перегляді зразка. Зображення може являти собою, наприклад, логотип, картинку, номер або будь-яку іншу інформацію, яка може мати відношення до конкретного контексту.

Терміни "реальне зображення" та "віртуальне зображення" використовуються у даному документі за аналогією із класичною оптикою. Для реального зображення пучки променів, відповідні до точок зображення, збігаються. Для віртуального зображення (розбіжні) пучки променів, здається, виходять із відповідних точок зображення при розширенні назад, але якщо екран розташований у місці розташування віртуального зображення, на ньому не буде сформовано фактичне зображення.

Відповідно, віртуальне зображення джерела світла називається віртуальним джерелом.

Для дослідження великої кількості оптичних поверхонь, конфігурацій і параметрів виготовлення всіх відповідних каустичних шарів стає непомірно дорогим, і замість цього використовувалося оптичне моделювання. Оптичне моделювання проводилося за допомогою трасування променів з використанням комерційної програми (Zemax). Слід підкреслити, що точність моделювання порівнянна з точністю, використовуваною для більшості застосувань в оптиці формування зображень (наприклад, при виготовленні лінз камери). Отже, можна припустити, що результати з високим ступенем достовірності відповідають дійсності.

Параметри, використовувані для моделювання людського ока, наведено у таблиці 1 нижче.

Таблиця 1.

Параметри моделювання людського ока

Фокусна відстань, f	17 мм (наприклад, 17 мм у повітрі та 22 мм у воді)
Діаметр райдужної оболонки, d_{iris}	2,5–7 мм (наприклад, 3 мм закритої райдужної оболонки та 5 мм розширеної райдужної оболонки)
Відстань для читання, d_R	250 мм
Кут візуалізації ока, θ	5° (центральна ямка сітківки ока - точна візуалізація) 20° (пляма сітківки ока)

На фіг. 1 показано оптичну схему оптичного захисного елемента згідно із одним аспектом даного винаходу, де каустичний шар має позитивну фокусну відстань ($f_c > 0$), а лінзоподібний елемент має негативну фокусну відстань ($f_l < 0$). Щоб побачити зображення оком при освітленні джерелом 1 світла, каустичний шар 2 з висотою від піка до западини $\Delta h=30$ мкм і фокусною відстанню 40 мм був об'єднаний із вставленим поряд з ним негативним лінзоподібним елементом 3 (у проілюстрованому на фіг. 1 варіанті здійснення з боку ока). Як показано на фіг. 1, джерело 1 світла розташоване на відстані щонайменше 400 мм від каустичного шару 2.

Установку проводять перед оком 4 на відстані приблизно 20-30 мм, яка вважається відстанню R віддалення вихідної зіниці. Зображення 5 на сітківці ока також показано на фіг. 1. Промені, що виходять із оптичного захисного елемента, розбігаються, і, таким чином, райдужна оболонка ока обмежує поле зору та видиму частину каустичного зображення. Чим ближче оптичний елемент

до ока, тим більше поле зору та тим більша видима частина каустичного зображення.

На фіг. 2 показано оптичну схему оптичного захисного елемента, де каустичний шар має негативну фокусну відстань ($f_c < 0$), а лінзоподібний елемент має позитивну фокусну відстань ($f_l > 0$). Каустичний елемент 2" має поверхню, яка є негативною копією вихідного елемента, використуваного на фіг. 1, і в результаті має негативну фокусну відстань - 40 мм. Він об'єднаний з позитивним лінзоподібним елементом 3" та утримується аналогічно установці на фіг. 1 на відстані R від ока 4. Як показано на фіг. 2, джерело 1 світла розташоване на відстані щонайменше 400 мм від каустичного елемента 2". Зображення 5 створюється на сітківці ока. Як показано на фігурі, видна більша частина каустичного зображення у порівнянні із зображенням на фіг. 1, оскільки промені на виході захисного елемента збігаються, і райдужна оболонка ока відсікає менше променів, перш ніж вони досягнуть сітківки ока.

Схематична установка, використувана для запису фізичних зображень, показана на фіг. 3. Око моделюється модулем 6 комерційної камери (uEye UI-1225LE-C-HQ), оснащеним об'єктивом 8 з фокусною відстанню 16 мм (Fujinon HF16A-1B) з фокусуванням 250 мм і датчиком 7 кольору VGA. Установка вибрана для одержання зображень, які нагадують те, що бачить око. У цьому випадку каустичний шар 2 з висотою від піка до западини $\Delta h = 30$ мкм (оброблений на пластині 10×10 мм із PMMA товщиною 2 мм) і фокусною відстанню 40 мм об'єднується із вставленим поряд з ним негативним лінзоподібним елементом 3. Використовувані негативні лінзоподібні елементи 3 мають відповідні фокусні відстані -15, -30, -50 та -125 мм. У варіанті здійснення, показаному на фіг. 3, відстань від негативного лінзоподібного елемента 3 до об'єктива 8 становить 50 мм. Джерело 1 світла являє собою фотоспалах мобільного телефону, у даному необмежувальному варіанті здійснення являє собою світлодіод телефону Samsung S3. Як показано на фіг. 3, джерело 1 світла розташоване на відстані щонайменше 400 мм від каустичного шару 2.

Датчик камери моделював сітківку ока, на якій формувалося каустичне зображення. У деяких випадках також використувалася більша апертура, щоб максимально збільшити поле зору. У даному розкритті термін "поле зору" означає поперечний розмір видимого вікна, а не його кутовий розмір. Також було відмічено, що при заданій відстані до каустичного елемента приблизно 50 мм зображення, зареєстроване камерою, було схоже на те, що було видно неозброєним оком у нормальних офісних умовах, якщо дивитися через каустичний елемент на кишеньковий ліхтарик, коли райдужна оболонка відкрита приблизно на 3-4 мм.

На фіг. 4 показано схематичну установку, використувану для запису фізичних зображень. Як і на фіг. 3, око моделюється модулем 6 комерційної камери (uEye UI-1225LE-C-HQ), оснащеним об'єктивом 8 з фокусною відстанню 16 мм (Fujinon HF16A-1B) з фокусуванням 250 мм (діафрагма повністю відкрита), і датчиком 7 кольору VGA, і джерело 1 світла являє собою фотоспалах мобільного телефону (у даному необмежувальному варіанті здійснення це світлодіод телефону Samsung S3). Каустичний шар 2" з висотою від піка до западини $\Delta h = 30$ мкм (одержаний як копія поверхні каустичного шару, використуваного на фіг. 3) і негативною фокусною відстанню -40 мм об'єднується із вставленим поряд з ним позитивним лінзоподібним елементом 3". Позитивні лінзоподібні елементи 3" мають відповідні фокусні відстані 40 мм та 50 мм. У варіанті здійснення, показаному на фіг. 4, відстань від негативного лінзоподібного елемента 3 до об'єктива 8 становить 5 мм. Джерело 1 світла розташоване на відстані щонайменше 400 мм від каустичного шару 2.

На фіг. 5 та фіг. 6 показано приклади зображень, одержаних за допомогою вищезгаданої установки згідно з фіг. 3 з використанням негативних лінзоподібних елементів, що мають $f_l = -30$ мм та $f_l = -50$ мм, відповідно, та каустичних шарів з фокусними відстанями $f_c = 40$ мм.

Зокрема, на фіг. 5 зображено різке зображення з полем зору (FOV), що може покривати тільки 2/3 символу 100. Це те, що видно неозброєним оком, якщо дивитися крізь елемент на фотоспалах мобільного телефону.

У свою чергу, на фіг. 6 зображено, що при використанні негативного лінзоподібного елемента, що має $f_l = -50$ мм, зображення починає розмиватися, оскільки негативний лінзоподібний елемент є недостатньо потужним, щоб компенсувати позитивну фокусну відстань каустичного шару. FOV є більшим, ніж лінзоподібний елемент, що має $f_l = -30$ мм, та видна більша частина зображення. Однак, зображення займає меншу площу на датчику ("сітківці"). Відповідно, при збільшенні фокусної відстані поле зору збільшується, але ступінь збільшення зменшується.

На фіг. 7 та 8 показано приклади зображень, одержаних за допомогою установки, описаної на фіг. 4. Копія каустичного шару, використовувана для генерування зображень на фіг. 5 та фіг. 6, використовується у цьому випадку як негативний каустичний шар з фокусною відстанню $f_c = -40$ мм для генерування зображень на фіг. 5 та фіг. 6. Позитивні лінзи $f_L=40$ мм та $f_L=50$ мм використовуються для створення віртуальних зображень, придатних для спостереження. В обох випадках видима частина каустичного візерунка є набагато більшою у порівнянні із прикладами, наведеними на фіг. 5 та фіг. 6. Це відбувається через збіжні світлові промені за такими оптичними захисними елементами. У випадку, показаному на фіг. 8, збільшення є меншим, і частина кругового відсікання відбувається через апертуру лінзи 12,7 мм. У кожному разі така конфігурація дозволяє повністю бачити апертуру каустичного шару розміром 10×10 мм.

З метою визначення відповідних параметрів і практичного діапазону застосовності оптичних елементів функції, виконувани кожним компонентом оптичного вузла, що утворює оптичний елемент, описуються й аналізуються окремо.

У реальному оптичному елементі ці функції можуть виконуватися разом за допомогою одного елемента, що діє одночасно як каустичний шар та передавальний елемент, або окремо за допомогою оптичного вузла з одного каустичного шару й одного (або більше) передавального елемента, як проілюстровано на фіг. 9 та фіг. 10.

На фіг. 9 показано приклади можливих оптичних елементів, що включають: а) елемент із каустичним шаром 2 з елементарними лінзами 9 та окремим негативним (пласко-вгнутих) лінзоподібним елементом 3 (передавальний елемент), б) елемент із каустичним шаром з елементарними лінзами 9 та передавальний елемент із вигнутою задньою поверхнею, що являє собою негативний лінзоподібний елемент 3, с) каустичний шар з елементарними лінзами 9 на вигнутій поверхні (пласко-вгнутого) негативного лінзоподібного елемента 3 (сума обох поверхонь).

На фіг. 10 показано приклади можливих оптичних елементів, що включають: а) елемент із негативним каустичним шаром 2 з елементарними лінзами 9 і окремим (пласко-опуклим) позитивним лінзоподібним елементом 3, б) елемент із негативним каустичним шаром з елементарними лінзами 9 та із задньою поверхнею, що являє собою позитивний лінзоподібний елемент 3, с) негативний каустичний шар 2 з елементарними лінзами 9 на поверхні позитивного лінзоподібного елемента 3 (сума обох поверхонь). Слід відмітити, що всі поверхні, які мають прогин (висоту кривизни) вище максимального, дозволеного зовнішніми обмеженнями (від піка до западини, що розширює попередньо визначений максимум), можна зменшити за допомогою техніки "Fresnelization".

Крім того, як зручна система іграшкових моделей використовується набір мікролінз для проектування "каустичного зображення" (або "каустичного візерунка"), що складається з регулярного масиву точок. Для пояснення принципу роботи даного винаходу цей підхід має декілька переваг у порівнянні з використанням більш складної поверхні каустичного шару:

- вибрана система є дуже простою для розуміння, опису та моделювання;

- вона містить найбільш важливі ознаки каустичного шару;

- відповідні параметри можуть бути визначені аналітично, і вони мають чітко визначене значення (наприклад, фокусна відстань каустичного шару).

Вивчені у такий спосіб концепції можуть бути потім прямо перенесені на більш складний випадок загальної поверхні каустичного шару. У рамках цієї схеми оптичний елемент об'єднує наступні функції:

- створення каустичного зображення (реального або віртуального) у деякому місці у просторі (необов'язково у межах акомодативної здатності ока);

- перенесення каустичного зображення у прийнятне місце, щоб око могло сфокусувати його на сітківці ока. Враховуючи акомодативну здатність ока, ретрансльоване зображення повинне розташовуватися на відстані щонайменше 25 см від ока. На практиці оптичний елемент розташовується прямо перед оком або, якнайбільше, на відстані декількох сантиметрів від нього, тому ретрансльоване зображення формується за оптичним елементом (віртуальне зображення);

- спрямування променів, що формують зображення, таким чином, щоб вони могли проходити через зіницю, не будучи відсіченими.

Існують два основні способи виконання перших двох функцій (третя функція буде окремо розглянута нижче).

Один варіант здійснення полягає в об'єднанні каустичного шару з позитивною фокусною відстанню ($f_c > 0$) та лінзоподібного елемента з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$), див. фіг. 9 та далі фіг. 11-12, на яких зображено оптичні схеми створення зображення на сітківці ока за допомогою групи лінз 3 та елементарних лінз каустичного шару 2 оптичного захисного

елемента 10. Використовуючи вищезгадану іграшкову модель для пояснення цього варіанта здійснення, за допомогою колімованого світлового променя 11 від джерела, розташованого на великій відстані або нескінченності, негативний лінзоподібний елемент 3 створює віртуальне зображення 12 джерела. Віртуальне зображення 12 розташовується між оптичним елементом 10 та фокусною точкою лінзи 3. Світло, що виходить від віртуального зображення 12, розділяється на світлові поля масивом елементарних лінз, і лінза 14 ока створює декілька яскравих точок на сітківці ока, які являють собою декілька зображень 13 віртуального джерела 12, причому кожна яскрава пляма відповідає лінзі з масиву елементарних лінз. Лінза 14 ока діє як лінза Фур'є, фокусуючи всі паралельні промені в одній точці на сітківці ока. Група яскравих точок на площині 15 зображення сітківки ока формує растр, подібний каустичному зображенню.

Альтернативно, позитивну каустичну поверхню можна розглядати як ту, що проектує реальне зображення (одна точка на елементарну лінзу), яке перетворюється негативною лінзою у віртуальне зображення на прийнятній відстані від ока, позначеного цифрою 17 на фіг. 12. Слід відмітити, що оптичний елемент із позитивним каустичним шаром має діаметр поля зору (FOV), який обмежений діаметром райдужної оболонки 16. Це обмеження можна побачити у формулах:

$$d_1 = d_{\text{iris}} \left| f_L / (|f_L| + R) \right|,$$

$$d_2 = 2 \left| f_L \right| \tan(\theta/2), \text{ та}$$

$$d_{\text{FOV}} = \min(d_1, d_2).$$

де d_{iris} являє собою діаметр райдужної оболонки, R являє собою відстань від каустичного шару до ока, f_L являє собою фокусну відстань лінзоподібного елемента, та θ являє собою розглянутий кут візуалізації ока. Наприклад, враховуючи тільки частину ока з найвищим розділенням (центральну ямку сітківки) $\theta = 5^\circ$, а також частину сітківки з нижчим розділенням, $\theta = 20^\circ$ (див. таблицю 1).

У граничному випадку, коли R прагне до нуля, d_{FOV} є найбільшим, але ніколи не перевищує діаметр райдужної оболонки ока. Більш того, випадок з $R=0$ мм є неможливим, тому що завжди повинна бути деяка відстань від ока до каустичного шару.

Інший варіант здійснення полягає в об'єднанні каустичного шару з негативною фокусною відстанню ($f_c < 0$) та лінзоподібного елемента з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$), див. фіг. 10 та далі фіг. 13 та фіг. 14, на яких зображено оптичні схеми створення зображення на сітківці ока (площині 15 зображення сітківки) за допомогою групи елементарних лінз каустичного шару 2", об'єднаних з позитивним лінзоподібним елементом 3" в оптичному елементі 10.

Як вже згадано, каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_c < 0$) здатний формувати віртуальне каустичне зображення 12 на одній і тій же стороні джерела світла. Кожна з маленьких лінз каустичного шару 2 створює віртуальне джерело (віртуальне зображення джерела) перед лінзоподібним елементом 3. Набір цих віртуальних джерел являє собою віртуальний об'єкт, який потім відображається наступним позитивним лінзоподібним елементом 3 для формування віртуального каустичного зображення 17, яке саме око відображає на сітківці 15 ока у вигляді зображення 13. Слід відмітити, що фокусну відстань позитивної лінзи слід вибирати як таку, що дорівнює або більше абсолютного значення фокуса елементарних лінз каустики. Це дозволяє створювати віртуальне каустичне зображення 17 далі, ніж мінімальна відстань d_R читання для ока, і запобігає напрузі ока для відображення променів від збіжного конуса світла. Таким чином, формування віртуального зображення на прийнятній відстані d_R полегшує акомодацию ока.

У цьому випадку частина каустичного шару, яку бачить око, тобто діаметр поля зору (d_{FOV}), визначається кутом візуалізації ока θ та діаметром райдужної оболонки ока d_{iris} , див. фіг. 13 та фіг. 14. У цьому випадку:

$$d_{\text{FOV}} = \min(d_1, d_2)$$

де:

$$d_1 = 2f_L \tan(\theta/2)$$

$$d_2 = d_{\text{iris}} / \left| 1 - R/f_L \right|$$

У цілому збільшення відстані R до фокусної відстані лінзи f_L дозволяє бачити більшу частину оптичного елемента (на відміну від випадку позитивного каустичного шару). Як і у попередньому прикладі, розглянутий кут θ візуалізації ока визначає, наскільки точно буде видно каустичне зображення. Вище кутової межі центральної ямки сітківки (більш 5°) каустичне зображення сприймається оком, але зі зменшуваним розділенням.

Вимога, що полягає у тому, щоб віртуальне зображення формувалося на комфортній для читання відстані d_R від ока (зазвичай, щонайменше 25 см), перетворюється на таке рівняння:

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} \right)^{-1} \geq d_R$$

де:

f_L та f_C являють собою фокусні відстані лінзоподібного елемента та каустичного шару, відповідно;

5 R являє собою відстань від каустичного шару до ока; та

d_R являє собою комфортну для читання відстань від ока, яка становить щонайменше 25 см.

Слід відмітити, що вищезгадана формула є асимптотично точною для нескінченно віддаленого джерела світла. Для кінцевої відстані d_S від джерела правильне рівняння фактично має вигляд:

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1} \geq d_R$$

10

На практиці d_S є досить великою, щоб її можна було розглядати на нескінченності (і, отже, $1/d_S \approx 0$), так що асимптотична формула використовується у наступному обговоренні.

Як уже вказувалося, не всі промені, які, очевидно, виходять від віртуального джерела, можуть проникати у зіницю та досягати сітківки ока, оскільки деякі з них блокуються райдужною оболонкою. Відповідно, на сітківці ока формується тільки частина цільового зображення, а інша частина відсікається. Яка частина зображення в остаточному підсумку видна, залежить від геометрії та параметрів лінзи, як показано на фіг. 11–фіг. 14.

15

Зокрема, коли негативний каустичний шар об'єднується з позитивним лінзоподібним елементом, обвідна пучків променів збігається до зіниці. І навпаки, коли позитивний каустичний шар об'єднується з негативним лінзоподібним елементом, обвідна пучків променів розбігається. Отже, для того, щоб була видна більша частина зображення, переважно працювати з негативним каустичним шаром в об'єднанні з позитивним лінзоподібним елементом.

20

Більш конкретно, якщо діаметр поля зору (d_{FOV}) визначається як діаметр частини каустичного шару, яка фактично сприяє формуванню зображення на сітківці ока, відразу можна побачити, що:

25

- коли позитивний каустичний шар об'єднується з негативним лінзоподібним елементом, d_{FOV} обов'язково буде менше діаметра зіниці d_{iris} , оскільки $d_{FOV} = d_{iris} \cdot |f_L| / (|f_L| + R)$;

- коли негативний каустичний шар об'єднується з позитивним лінзоподібним елементом, d_{FOV} може бути суттєво більше d_{iris} , залежно від точної геометрії та від того, чи ослаблене обмеження, обумовлене максимальним кутом θ візуалізації ока.

30

У випадку використання позитивного каустичного шару в об'єднанні з негативним лінзоподібним елементом зображення відсікається райдужною оболонкою. Для заданої фокусної відстані каустичного шару чим більше фокусна відстань лінзоподібного елемента (в абсолютній величині, $|f_L|$), тим більша частина каустичного зображення, що проектується на сітківку ока. Однак, $|f_L|$ не можна зробити довільно великим, оскільки для $|f_L| > f_C$ акомодативної здатності ока вже недостатньо, щоб сфокусувати зображення на сітківці ока, оскільки це не буде задовольняти рівняння (E). Крім того, навіть при збільшенні $|f_L|$ сприйнятий розмір зображення не змінюється. Іншими словами, більша частина зображення стає видимою просто тому, що деталі стають меншими, а не тому, що рамка зображення стає більшою.

40

На фіг. 15 та фіг. 16 показано використання оптичного захисного елемента, розташованого на відстані 25 мм від ока спостерігача та утвореного з позитивного каустичного шару з фокусною відстанню $f_C = 40$ мм, пов'язаного з негативним лінзоподібним елементом з фокусною відстанню $f_L = -40$ мм. Розбіжне світло від оптичного елемента відсікається райдужною оболонкою ока діаметром $d_{iris} = 3$ мм, як показано на фіг. 15. Видна невелика частина всього каустичного зображення. Незважаючи на обмежене поле зору, око може сканувати зображення, щоб побачити набагато більшу частину передбачуваного каустичного зображення, щоб гарантувати автентичність об'єкта.

45

Один зі способів збільшити видиму частину каустичного візерунка - зменшити пропускане світло та змусити око відкрити райдужну оболонку. На фіг. 16 показано більшу частину каустичного візерунка, видимого оком, коли райдужна оболонка відкрита до $d_{iris} = 5$ мм. Зображення на сітківці ока, показаний у правій частині, подібне зображенню, яке одержано камерою, як показано на фіг. 5, при цьому каустичний шар має фокусну відстань $f_C = 40$ мм, а негативний лінзоподібний елемент має фокусну відстань $f_L = -30$ мм.

50

Слід зазначити, що у фізіологічно нормальних умовах очі реагують на світло закриттям зіниці, що приводить до конфліктної ситуації: з одного боку, хотілося б, щоб на сітківці ока формувалося яскраве зображення, і у той же час зіниця повинна залишатися відкритою як

55

можна ширше.

Із цих міркувань очевидно, що об'єднання позитивного каустичного шару з негативним лінзоподібним елементом можна використовувати для проектування каустичного зображення на сітківку ока, але це не оптимально з погляду взаємодії з користувачем.

5 У випадку об'єднання негативного каустичного шару з позитивним лінзоподібним елементом проблема відсікання може бути вирішена при відповідному виборі геометрії та параметрів. Оскільки у цій схемі пучки променів збігаються до зіниці, при заданому діаметрі зіниці звичайно видна більша частина зображення.

10 Якщо у нормальних умовах райдужна оболонка ока вважається відкритою від 3 до 5 мм, то, наприклад, каустичний шар з негативною фокусною відстанню -40 мм та позитивна лінза 40 мм, утримувані на відстані 25 мм від ока, дозволяють побачити частину каустичного елемента розміром більше 7,5 мм.

15 Переважно, щоб побачити ще більшу частину каустичного шару, можна збільшити відстань від ока з 25 мм до, наприклад, 40 мм, як показано на фіг. 17 та фіг. 18. У загальному випадку негативного каустичного елемента в об'єднанні з позитивним лінзоподібним елементом оптимальна відстань від ока приблизно дорівнює фокусній відстані позитивного лінзоподібного елемента.

20 На фіг. 17 та фіг. 18 показано змодельовані (тобто із трасуванням променів) зображення, створювані оптичним захисним елементом, який має негативний каустичний шар з $f_c = -40$ мм, прилеглий до позитивної лінзи з $f_L = 40$ мм, і він розташований на відстанях 25 мм і 40 мм відповідно від моделі ока 4 з фіксованим діаметром райдужної оболонки 3 мм. На фіг. 17 у лівій частині фігури показано установку, що складається із пластини каустичного шару та негативного лінзоподібного елемента з оком 4 спостерігача на відстані 25 мм, а у правій частині фігури показано каустичне зображення, яке проектується на сітківці ока спостерігача.

25 Спостережуване каустичне зображення не є повним, оскільки райдужна оболонка ока діаметром 3 мм відсікає деякі промені, які перенаправляються з рельєфного візерунка, утвореного за допомогою негативних елементарних лінз та з'єданого з позитивною лінзою, а також утримуваного на відстані 25 мм від ока. Більша відстань від каустичного елемента до ока допомагає зменшити відсікання каустичного зображення, як показано на фіг. 18. Інший спосіб зменшити відсікання каустичного зображення - це зменшити інтенсивність зображення за рахунок зменшення пропущення каустичного елемента та, таким чином, змушуючи око відкрити райдужну оболонку, скажемо, на 5 мм або більше у діаметрі.

30 В окремому випадку, коли відстань від ока до каустичного шару дорівнює фокусній відстані позитивного лінзоподібного елемента, усі пучки променів збігаються разом і проходять через зіницю без перешкод.

35 Відношення між фокусними відстанями лінзоподібного елемента та каустичним шаром повинне як і раніше задовольняти рівняння (E), щоб око могло фокусувати пучки променів на сітківці.

40 Дотепер функції, виконувані каустичним оптичним елементом і лінзою, описувалися окремо й моделювалися двома окремими компонентами. Це зручно для розуміння та пояснення (i) того, як формується каустичне зображення, та (ii) які є відповідні параметри. Однак на практиці не існує строгих вимог у цьому змісті, і дві функції можуть бути об'єднані в один "ефективний" компонент.

45 Якщо поверхня каустичного шару та поверхня лінзоподібного елемента об'єднані разом у єдину оптичну поверхню, об'єднана поверхня може бути розрахована безпосередньо шляхом адаптації чисельних методів, які використовуються для розрахунків тільки каустичної поверхні. Однак, у більшості випадків справедливим є параксіальне наближення тонких елементів. Зручно, що ця нова поверхня просто відповідає алгебраїчній сумі двох окремих поверхонь. Іншими словами, якщо поверхня лінзоподібного елемента, з віссю z уздовж оптичної осі

50 оптичного вузла, задана $z = g_L(x, y)$, а поверхня каустичного шару - $z = g_C(x, y)$, то одержана у результаті еквівалентна об'єднана поверхня задана $z = g_L(x, y) + g_C(x, y)$.

55 Згідно із даним винаходом каустичний шар може мати негативну фокусну відстань f_c , яка становить у діапазоні від -30 мм до -50 мм, наприклад, $f_c = -40$ мм, та він об'єднаний з лінзоподібним елементом, що має позитивну фокусну відстань f_L , яка становить у діапазоні від 30 мм до 50 мм, наприклад, $f_L = 45$ мм, при цьому лінзоподібний елемент являє собою плоскоопуклу лінзу.

60 На фіг. 19-20 показано зображення, створювані оптичним елементом, який має каустичний шар з $f_c = -40$ мм та лінзоподібний елемент з $f_L = 45$ мм, при цьому каустичний шар з негативною фокусною відстанню накладається на лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню.

У зв'язку із цим, як показано на фіг. 19, для діаметра райдужної оболонки ока $d_{iris}=3$ мм поле, видиме оком на відстані віддалення вихідної зіниці 25 мм, не відповідає повному зображенню та навіть не є круглим. Переміщення каустики на відстань більше 25 мм, наприклад на 40 мм, відкриває поле зору (FOV), що поліпшує якість створюваного зображення. Це належним чином проілюстровано фіг. 20.

Згідно із даним винаходом оптичний захисний елемент може бути нанесений на або включений в об'єкт, вибраний із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти, тим самим одержуючи маркований об'єкт згідно із даним винаходом.

Вказаний об'єкт може бути легко візуально автентифікований спостерігачем з використанням способу візуальної автентифікації маркованого об'єкта, що включає етапи, на яких:

- освітлюють поверхню для перенаправлення світла оптичного захисного елемента точковим джерелом світла на відстані d_s від поверхні для перенаправлення світла;

- візуально спостерігають віртуальне зображення каустичного візерунка, сформованого на відстані від ока, яка більше комфортної для читання відстані d_R (тобто порівняно з акомодативною здатністю ока); та

- вирішують, чи є об'єкт справжнім, при оцінці спостерігачем того, чи є проєктований каустичний візерунок візуально схожим на еталонний образ.

Іншими словами, автентичність оптичного захисного елемента (і, отже, об'єкта, маркованого даним захисним елементом) може бути оцінена безпосередньо шляхом візуальної перевірки ступеня подібності між проєктованим каустичним візерунком і еталонним образом.

Оптичний захисний елемент згідно із даним винаходом можна використовувати для автентифікації або захисту від підробки об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти. Таке використання, як правило, включає без обмеження маркування об'єкта оптичним захисним елементом та візуальну автентифікацію маркованого об'єкта, як згадано вище.

Відповідно, маркований об'єкт може бути автентифікований "людиною на вулиці" з використанням загальнодоступних засобів. При освітленні придатним джерелом світла зображення проєктується безпосередньо на сітківку ока спостерігача та не змінює прозорість об'єкта, на який воно нанесене. Переважно, можна працювати навіть зі слабким джерелом світла (наприклад, відбиттям на поверхні, світлодіодним індикатором тощо). Крім того, зображення, що проєктується ознакою, не має значної хроматичної аберації й не страждає від значних артефактів через залишкове розсіяне світло, яке не використовується для формування зображення.

Вищевказаний предмет винаходу слід вважати ілюстративним, а не обмежувальним, і він служить для кращого розуміння даного винаходу, обумовленого незалежними пунктами формули винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Оптичний захисний елемент, який виконаний із заломного прозорого або частково прозорого оптичного матеріалу та містить оптичний вузол з каустичного шару, який має поверхню для перенаправлення світла з рельєфним візерунком заданої глибини та фокусну відстань f_c , та прилеглого лінзоподібного елемента з фокусною відстанню f_L , виконаного з можливістю перенаправлення падаючого світла, прийнятого від точкового джерела світла через нього, та формування проєктованого зображення, що містить каустичний візерунок, безпосередньо на сітківці ока спостерігача, який дивиться на точкове джерело через оптичний захисний елемент.

2. Оптичний захисний елемент за п. 1, який **відрізняється** тим, що містить одне з наступного:

а) каустичний шар з позитивною фокусною відстанню ($f_c > 0$) та лінзоподібний елемент з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$), або

б) каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_c < 0$) та лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$).

3. Оптичний захисний елемент за п. 2, який **відрізняється** тим, що відношення між фокусною відстанню лінзоподібного елемента та фокусною відстанню каустичного шару задовольняє наступному рівнянню:

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_c} - \frac{1}{d_s} \right) \geq d_R$$

де:

R являє собою відстань від каустичного шару до ока спостерігача;

d_s являє собою відстань від точкового джерела світла до оптичного захисного елемента; та

d_R являє собою комфортну для читання відстань від ока, яка становить щонайменше 25 см.

4. Оптичний захисний елемент за будь-яким із пп. 2 або 3, який **відрізняється** тим, що позитивна фокусна відстань вибрана таким чином, щоб дорівнювати або бути більше абсолютного значення негативної фокусної відстані.

5. Оптичний захисний елемент за будь-яким із пп. 2-4, який **відрізняється** тим, що негативна фокусна відстань знаходиться в діапазоні від -15 до -125 мм, зокрема від -30 до -50 мм.

6. Оптичний захисний елемент за будь-яким із пп. 2-5, який **відрізняється** тим, що каустичний шар має негативну фокусну відстань f_C , яка знаходиться в діапазоні від -30 до -50 мм, та об'єднаний з лінзоподібним елементом, що має позитивну фокусну відстань f_L , яка знаходиться в діапазоні від 30 до 50 мм, при цьому лінзоподібний елемент являє собою плоско-опуклу лінзу.

7. Оптичний захисний елемент за будь-яким із пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що призначений для маркування об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти.

8. Оптичний захисний елемент, який містить відбивну поверхню для перенаправлення світла оптичного вузла, сформованого каустичним шаром, який має рельєфний візерунок заданої глибини та фокусну відстань f_C , та прилеглим шаром оптичного матеріалу з фокусною відстанню f_L , при цьому вказаний оптичний вузол виконаний з можливістю перенаправлення падаючого світла, прийнятого від точкового джерела світла, та формування проєктованого зображення, що містить каустичний візерунок, безпосередньо на сітківці ока спостерігача.

9. Оптичний захисний елемент за п. 8, який **відрізняється** тим, що містить одне з наступного:

а) каустичний шар з позитивною фокусною відстанню ($f_C > 0$) та шар оптичного матеріалу з негативною фокусною відстанню ($f_L < 0$), або

б) каустичний шар з негативною фокусною відстанню ($f_C < 0$) та лінзоподібний елемент з позитивною фокусною відстанню ($f_L > 0$).

10. Оптичний захисний елемент за п. 9, який **відрізняється** тим, що відношення між фокусною відстанню шару оптичного матеріалу та фокусною відстанню каустичного шару задовольняє наступному рівнянню:

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1} \geq d_R$$

де:

R являє собою відстань від каустичного шару до ока;

d_S являє собою відстань від точкового джерела світла до оптичного захисного елемента; та

d_R являє собою комфортну для читання відстань від ока, яка становить щонайменше 25 см.

11. Оптичний захисний елемент за п. 8, який **відрізняється** тим, що призначений для маркування об'єкта, вибраного із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти.

12. Маркований об'єкт, вибраний із групи, що включає споживчі товари, цінні документи та банкноти, який **відрізняється** тим, що об'єкт містить оптичний захисний елемент за будь-яким із пп. 1-11.

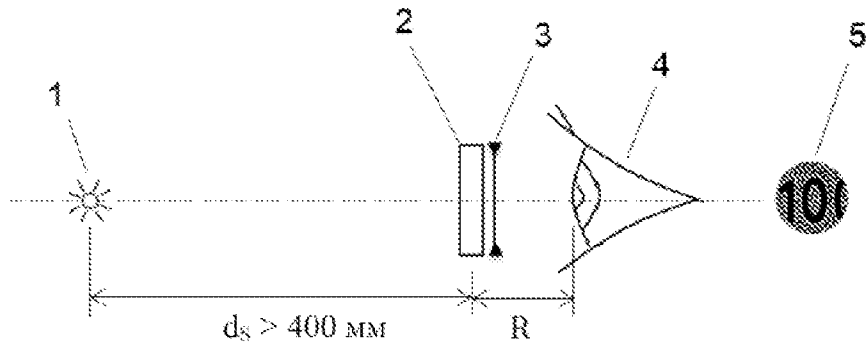
13. Спосіб візуальної автентифікації об'єкта, маркованого оптичним захисним елементом за будь-яким із пп. 1-11, спостерігачем, який **відрізняється** тим, що включає етапи, на яких:

освітлюють поверхню для перенаправлення світла оптичного захисного елемента точковим джерелом світла на відстані d_S від поверхні для перенаправлення світла;

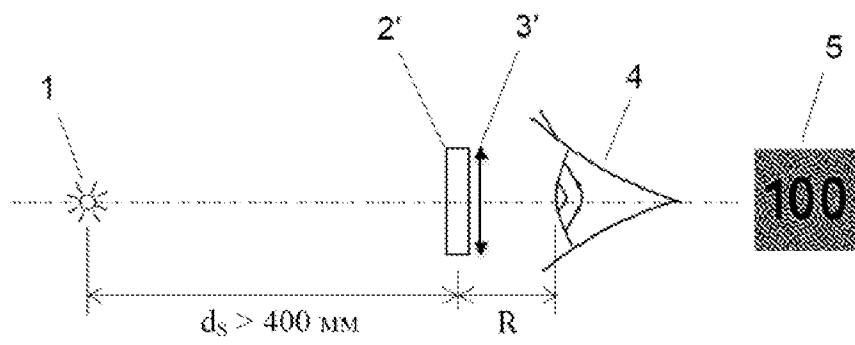
візуально спостерігають через оптичний захисний елемент віртуальне зображення каустичного візерунка на відстані d_i від оптичного захисного елемента, з

$$d_i = \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1}$$

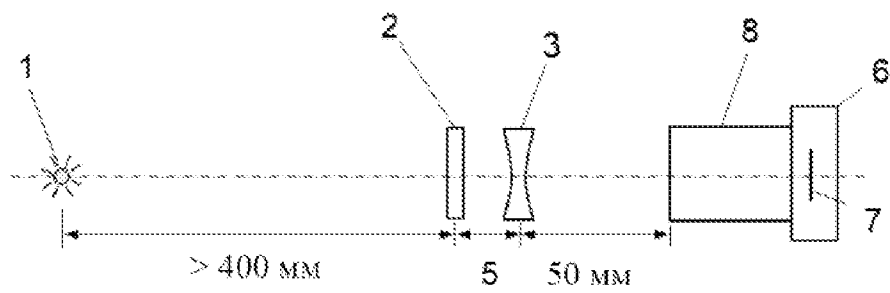
45 вирішують, чи є об'єкт справжнім, при оцінці спостерігачем того, чи є каустичний візерунок візуально схожим на еталонний образ.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

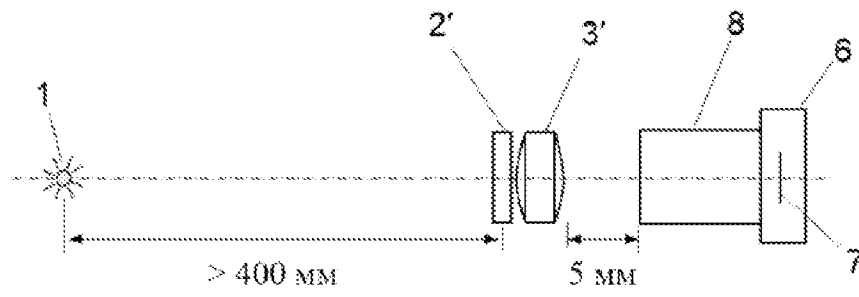


Fig. 4

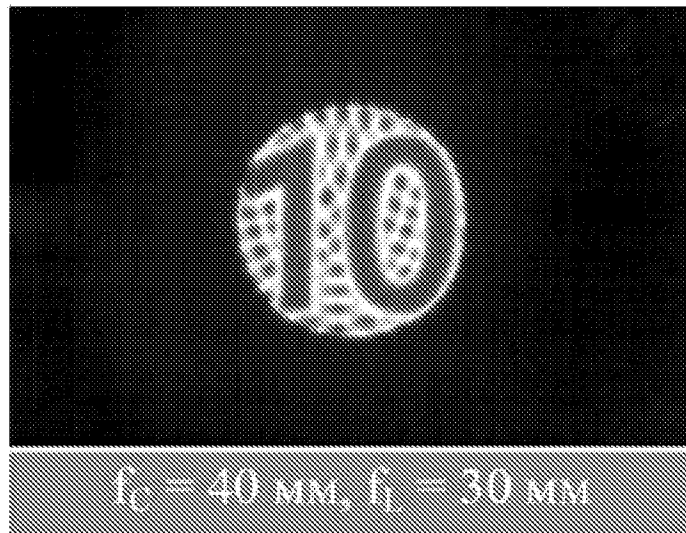


Fig. 5

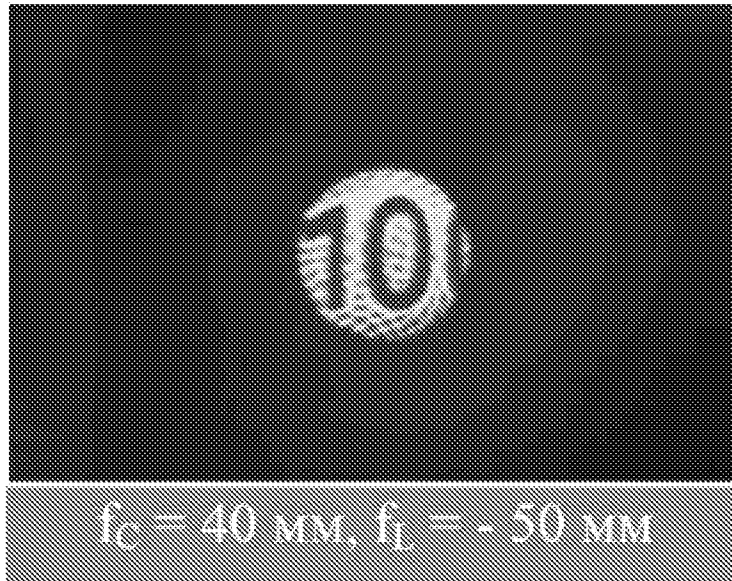


Fig. 6

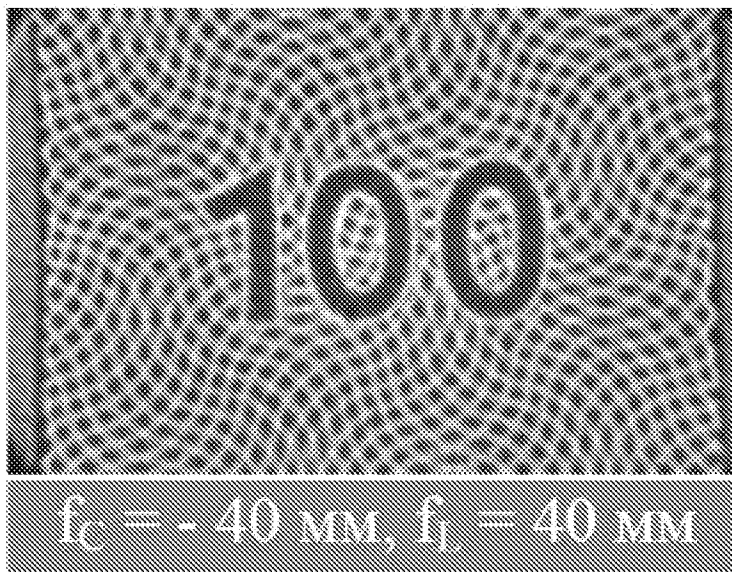
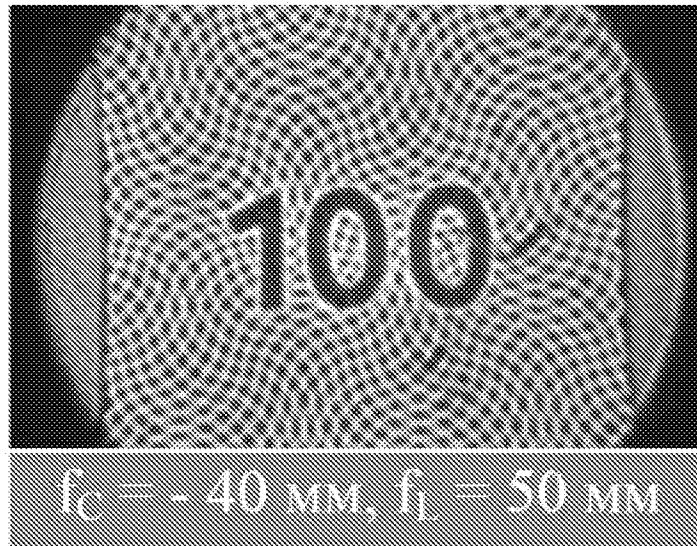
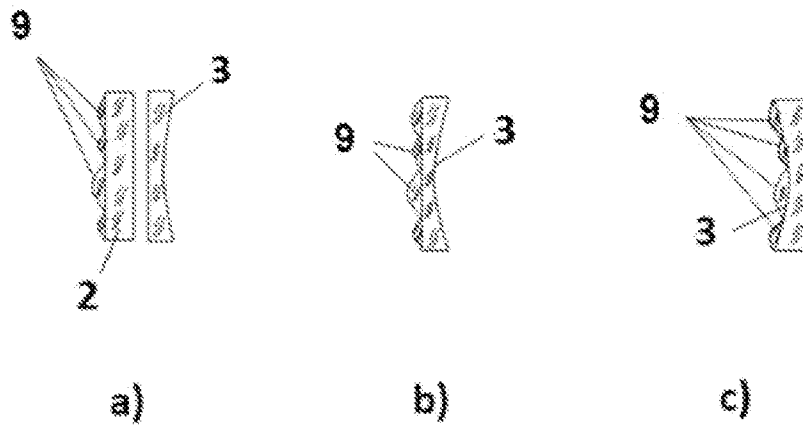


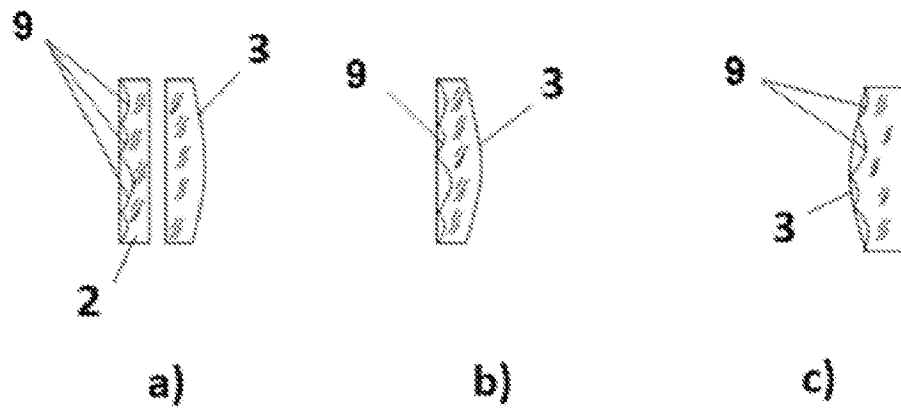
Fig. 7



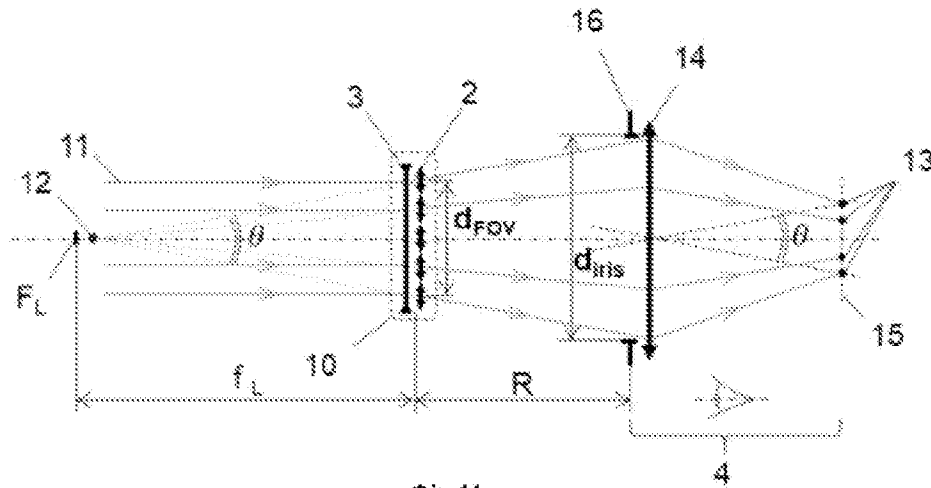
Фиг. 8



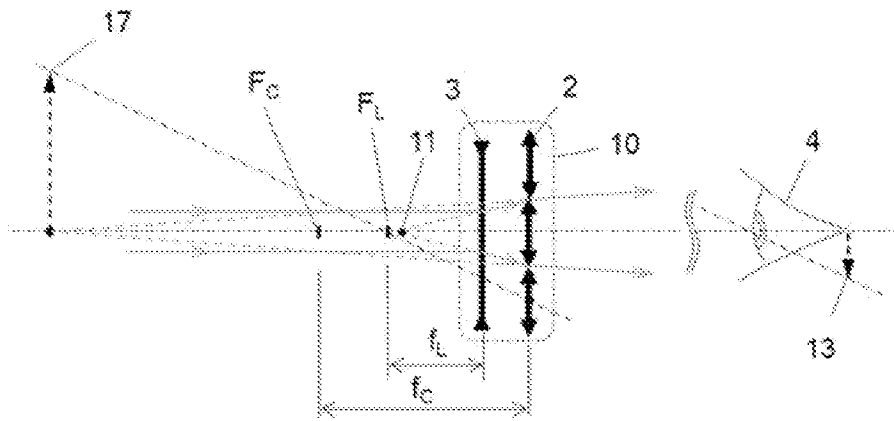
Фиг. 9



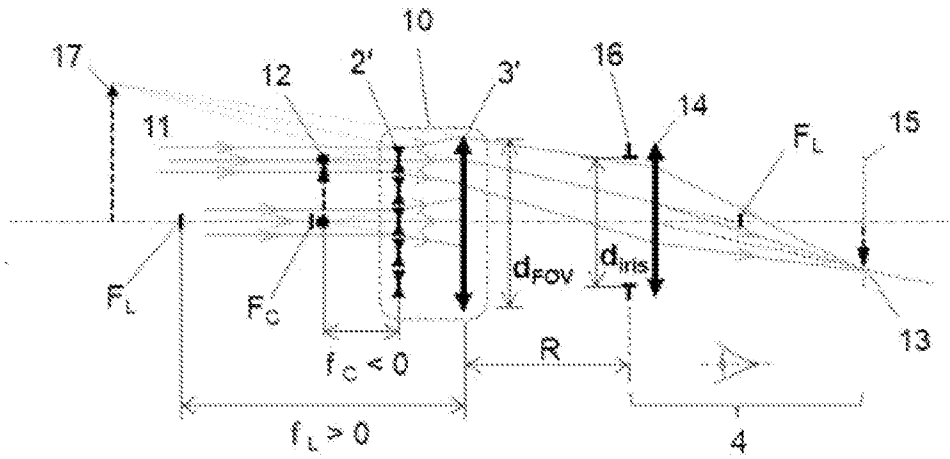
Фиг. 10



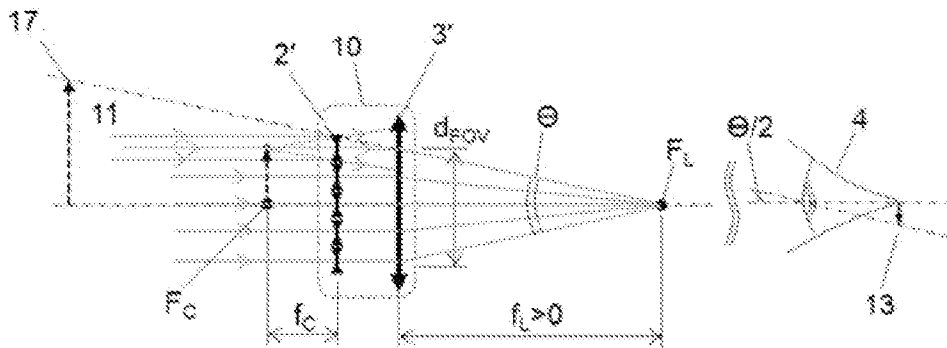
Фиг. 11



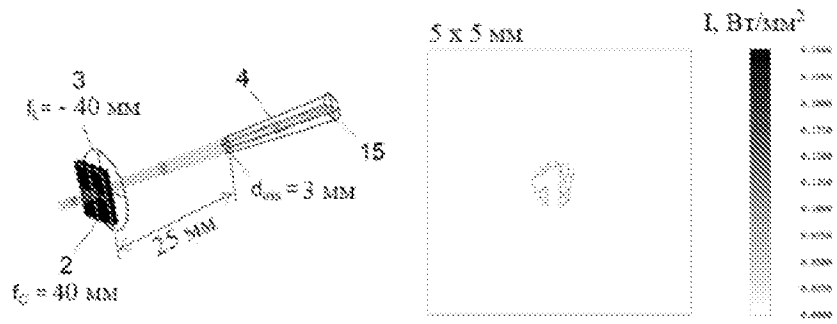
Фиг. 12



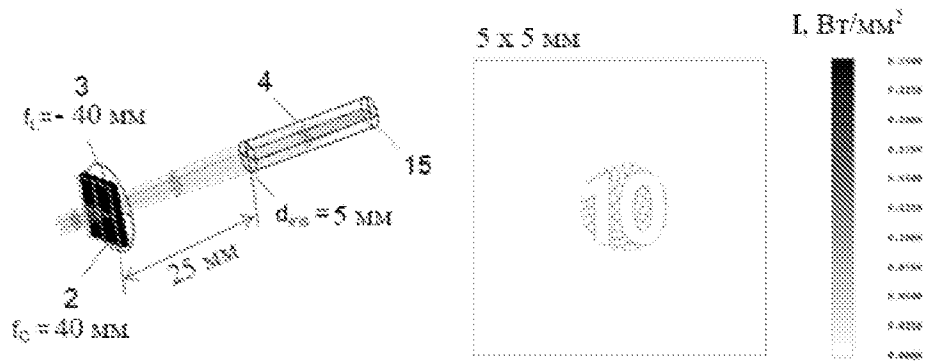
Фиг. 13



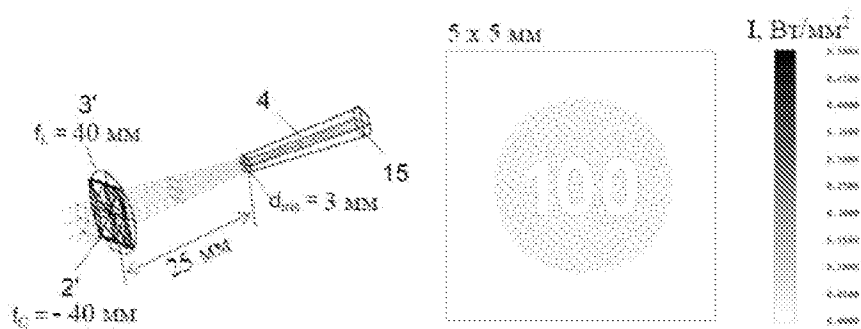
Фиг. 14



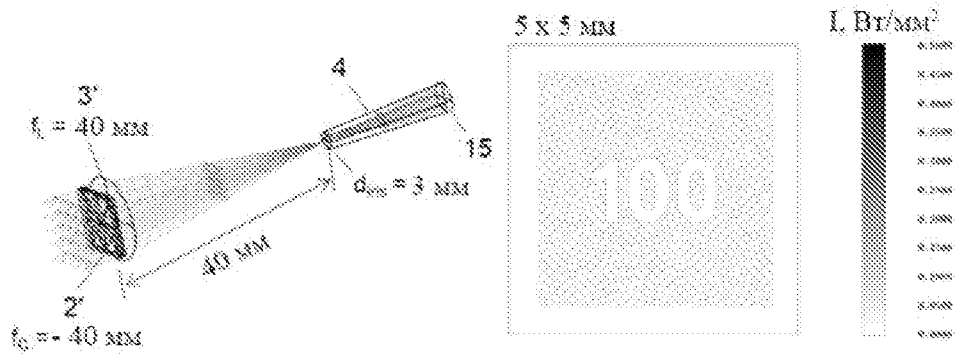
Фиг. 15



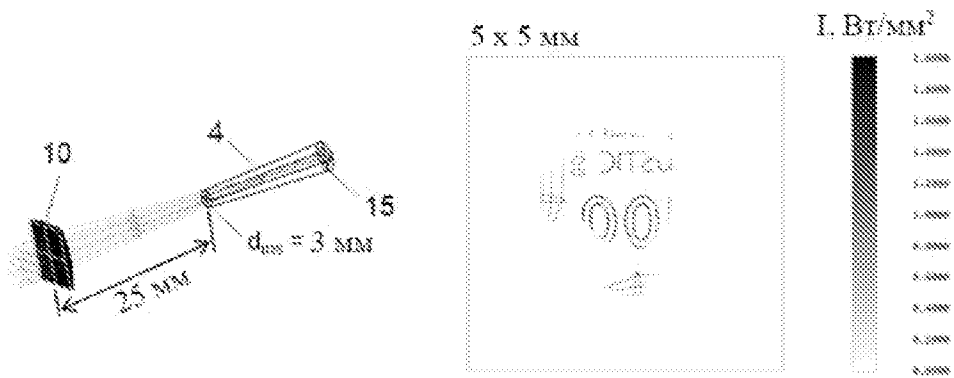
Фиг. 16



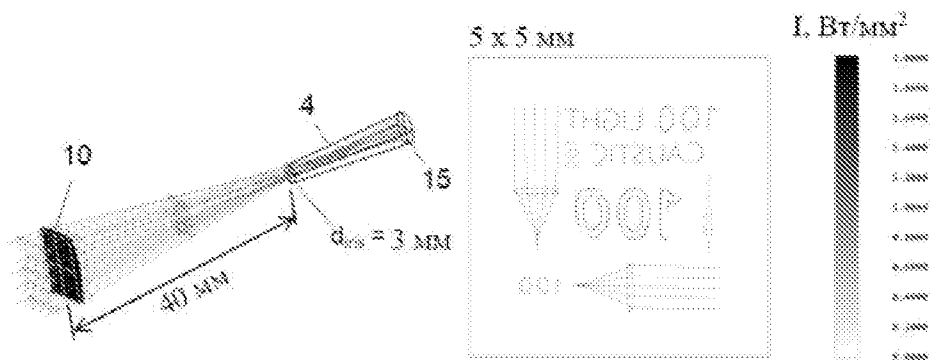
Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20

