

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 439338 A1

(12)

Opis zgłoszeniowy wynalazku (z daty zgłoszenia)

(21) Numer zgłoszenia: **439338**(22) Data zgłoszenia: **2021.10.27**(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.05.02 BUP 18/2023**

(51) MKP:

G03H 1/00 (2006.01)**G03H 1/04** (2006.01)**G03H 1/26** (2006.01)**G06K 19/16** (2006.01)**G11B 7/00** (2006.01)**G11B 7/131** (2012.01)

(71) Zgłaszający:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
Warszawa, PL
UNIwersytet w Białymstoku,
Białystok, PL**

(72) Twórca(-y):

**MICHAŁ MAKOWSKI, Warszawa, PL
MACIEJ SYPEK, Warszawa, PL
ANDRZEJ STUPAKIEWICZ, Białystok, PL**

(74) Pełnomocnik:

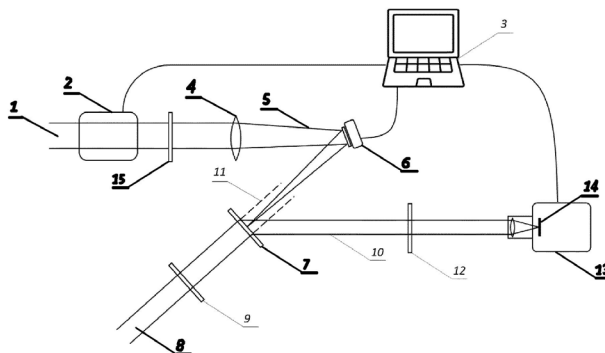
Piotr Mierzwinski, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym

(57) Skróć opisu:

Ujawniony jest sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym (7), w którym na etapie zapisu wzoru hologramu skolimowaną wiązkę zapisującą (1) z lasera impulsowego kieruje się w stronę soczewki asferycznej (4) formującej wiązkę zapisującą do postaci sferycznej wiązki zbieżnej, która następnie odchylana jest przez mikromechaniczne zwierciadło (6) typu MEMS oraz skupiana jest na powierzchni ośrodka optomagnetycznego (7), po czym w etapie rekonstrukcji skolimowana laserowa wiązka rekonstruująca (8) oświetla ośrodek optomagnetyczny (7), a następnie skupiana jest przez obiektyw kamery (13) na powierzchni macierzy detekcyjnej (14) tworząc płaszczyznę obserwacji. Wejściową wiązkę (1) moduluje się natężeniowo za pomocą modulatora (2), który sprzężony jest ze zwierciadłem MEMS (6) a następnie kształtuje się przestrzennie za pomocą elementu (15) kształtującego, przy czym zwierciadło MEMS (6) odchyła się dwukierunkowo tak, że zmodulowana natężeniowo i skupiona przez soczewkę asferyczną (4) wiązka zapisująca (5) dokonuje wielu aktów naświetlenia ośrodka optomagnetycznego (7).



Sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym

Przedmiotem wynalazku jest sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym. W szczególności wynalazek nadaje się do stosowania w układach przyocnych wyświetlaczy wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości.

Holografia optyczna stanowi jedną z najbardziej obiecujących pod kątem zastosowań technik uzyskiwania obrazów przestrzennych. Zapis hologramu polega na zarejestrowaniu obrazu interferencyjnego wytworzonego przez dwie wiązki światła koherentnego, z których pierwsza niesie informację o oświetlonym obiekcie (wiązka przedmiotowa) a druga stanowi wiązkę odniesienia (wiązka referencyjna). Zapisany na nośniku optycznym obraz zawiera informacje zarówno o amplitudzie jak i fazie wiązki pochodzącej od obiektu, co w procesie odtworzenia pozwala na obserwację obrazu trójwymiarowego.

W miarę prac nad rozwojem oraz zwiększeniem wydajności i dokładności pozyskiwanych obrazów trójwymiarowych rzeczywisty obiekt zastępowany zostawał z czasem przez zaprojektowany komputerowo wzór dyfrakcyjny, który generowany był następnie na planarnym urządzeniu wyświetlającym. Realizowana w ten sposób integracja procesu obrazowania przestrzennego z innymi - bardziej dostępnymi w tym przypadku - zaawansowanymi funkcjami optycznymi pozwoliło na stopniowe wyparcie klasycznej holografii przez holografię generowaną komputerowo. Zapewniane w jej zakresie niemal nieograniczone przedmiotowo możliwości obrazowania oraz znacznie wyższa dokładność i wydajność zapisu sprawiają, że holografia komputerowa staje się techniką bardzo atrakcyjną pod kątem zastosowań, w szczególności w układach przyocnych wyświetlaczy wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości. Obecnie, rejestrowane w ten sposób hologramy są w zdecydowanej

większości wyświetlane na ciekłokrystalicznych przestrzennych modulatorach światła, które - oświetlone przez wiązkę światła quasi monochromatycznego - odtwarzają dla oka obrazy trójwymiarowe zawierające głębię i perspektywę przestrzenną.

Holografia komputerowa, której realizacja oparta jest na modulatorach przestrzennych, w dalszym ciągu obciążona jest jednak szeregiem bardzo istotnych ograniczeń hamujących jej rozwój pod względem wydajności i szybkości. Jednym ze wspomnianych ograniczeń jest obecność w procesie regularnej matrycy pikselowej powodującej powstawanie duplikatów obrazu, które znacząco zaburzają jego czytelność. Drugi istotny problem to stosunkowo wolny czas zapisu obrazu na poziomie mikrosekund, który ograniczony jest czasem odpowiedzi samej komórki ciekłokrystalicznej. Istotnym utrudnieniem jest również obecność kontaktów elektrycznych adresujących każdy piksel modulatora osobno, co wiąże się z problematycznym adresowaniem pikseli i ograniczeniami szybkości transferu informacji o dużej repetycji. Ponadto, problem stanowi brak pamięci materiału, co wiąże się z koniecznością energochłonnego, periodycznego odświeżania stanu orientacji długich osi molekuł ciekłokrystalicznych w każdym pikselu modulatora. Znacznym utrudnieniem jest także brak modulacji zespolonej, tj. amplitudowo-fazowej, co wiąże się z istotnym wzrostem szumu oraz skomplikowanymi i kosztownymi algorytmami obejścia tego problemu.

W ramach prac nad doskonaleniem technik obrazowania holograficznego, badania naukowe oraz dostępne publikacje w dziedzinie dotyczą kwestii ulepszania stosowanych urządzeń i komponentów optycznych, w szczególności modulatorów jak i zmian zadawanych w obrębie parametrów wiązki oświetlającej.

Przykładowo, z dokumentów US10747032 B1, US20110149018 A1 i WO2005/076714 A2 znany jest sposób modulacji światła w przezroczystym ośrodku na zasadzie efektu Faradaya, gdzie pole magnetyczne indukowane jest przez przepływ prądu elektrycznego przez cewkę.

Ponadto, z dokumentu US20030049543 A1 znany jest sposób zapisu transmitancji fazowych w ośrodku optycznie przezroczystym w wyniku indukowanych termicznie trwałych i nieodwracalnych przejść fazowych materiału.

Dokument US6721076 B2 ujawnia sposób zapisu holograficznych prążków interferencyjnych punkt po punkcie w ośrodku fotoczułym odbiciowym.

Z kolei w przypadku dokumentów US8164988 B2, US9280996 B2 oraz US20140368303 A1 znane są ośrodki oraz metody wyłącznie optycznego przełączania magnetyzacji poprzez reorientację magnetyzacji w domenach pod wpływem ultrakrótkich impulsów światła do zapisu pojedynczych bitów magnetycznych w sposób termiczny.

Ponadto, z dokumentu US10037777 B1 znany jest ośrodek fotomagnetyczny umożliwiający zapis pojedynczych domen magnetycznych pod wpływem ultrakrótkich impulsów światła z lasera femtosekundowego w sposób nietermiczny.

Żadne ze znanych i omówionych powyżej rozwiązań nie pozwala na efektywny energetycznie zdalny zapis wysokiej jakości zespolonych hologramów w przezroczystym ośrodku posiadającym pamięć i dużą szybkość odświeżania, w prostym układzie optycznym, bez konieczności stosowania elektrod i zewnętrznych pól elektrycznych lub magnetycznych.

W świetle powyższego, zadaniem przedmiotowego wynalazku jest zaproponowanie nowego sposobu zapisu w ośrodku optycznie przezroczystym hologramów komputerowych o wysokiej wydajności dyfrakcyjnej, z podniesionym kontrastem i obniżonym poziomem szumu, przy równoczesnym umożliwieniu wyłącznie optycznego przełączania domen magnetycznych z możliwością ulosowienia ich położeń.

Zgodnie z założeniami wynalazku sposób realizowany jest z zastosowaniem progowego ośrodka optomagnetycznego, tj. materiału, w którym światło lokalnie przełącza magnetyzację bez dodatkowych czynników takich jak pole magnetyczne czy

napięcie lub prąd elektryczny. Optyczne przełączenie orientacji magnetyzacji domen powoduje w konsekwencji zmianę skręcenia polaryzacji światła przechodzącego przez próbkę na zasadzie efektu Faradaya. Ośrodek i sposób optycznego przełączania domen magnetycznych opisano w pracy A. Stupakiewicz, K. Szerenos, D. Afanasiev, A. Kirilyuk, and A. Kimel, *Nature* 542, 71 (2017). Ponadto, w publikacji J. Starobrat, A. Frej, J. Bolek, R. Trybus, A. Stupakiewicz, and M. Makowski, "Photo-magnetic recording of randomized holographic diffraction patterns in a transparent medium," *Opt. Lett.* 45, 5177-5180 (2020) omówiono sposób bezkontaktowego zapisu wzorów dyfrakcyjnych w wymienionym ośrodku optomagnetycznym oraz sposób rekonstrukcji (odtworzenia) holograficznego zapisu poprzez modulację amplitudową oświetlającej spolaryzowanej wiązki laserowej.

Zgodnie z przedmiotowym wynalazkiem, sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym, obejmuje etapy zapisu hologramu w ośrodku optomagnetycznym oraz jego rekonstrukcji. W etapie zapisu skolimowaną wiązkę zapisującą z lasera impulsowego kieruje się w stronę soczewki asferycznej formującej wiązkę zapisującą do postaci sferycznej wiązki zbieżnej, która następnie odchylana jest przez mikromechaniczne zwierciadło typu MEMS oraz skupiana jest na powierzchni ośrodka optomagnetycznego. Naświetlenie powierzchni ośrodka optomagnetycznego powoduje zmianę, tj. odwrócenie kierunku wektora magnetyzacji w domenach magnetycznych w miejscach, w których energia impulsu laserowego przekracza próg reakcji magnetyzacji w domenach magnetycznych. W etapie rekonstrukcji skolimowana laserowa wiązka rekonstruuje oświetla ośrodek optomagnetyczny, a następnie w wyniku dyfrakcji na powierzchni ośrodka optomagnetycznego odchyła się tworząc wiązkę, która następnie skupiana jest przez obiektyw kamery na powierzchni macierzy detekcyjnej tworząc płaszczyznę obserwacji. Sposób charakteryzuje się tym, że w etapie zapisu natężenie wiązki wejściowej moduluje się za pomocą modulatora, który sprzężony jest ze zwierciadłem MEMS, przy czym zwierciadło MEMS odchyła się dwukierunkowo tak, że zmodulowana natężeniowo i skupiona przez soczewkę

asferyczną wiązką zapisującą dokonuje wielu aktów naświetlenia w ośrodku optomagnetycznym. Ponadto, zmodulowana natężeniowo przez modulator wiązka zapisująca kształtowana jest przestrzennie przez element kształtujący tak, że wiązka zapisująca w punkcie przewężenia na powierzchni ośrodka optomagnetycznego ma asymetryczny przekrój poprzeczny.

Korzystnie, gdy element kształtujący przestrzennie stanowi płytka z przezroczą z zaciemnionymi symetrycznie obszarami oraz centralnym, przebiegającym jednokierunkowo przezroczystym paskiem o zadanej szerokości, przez który propaguje się wiązka zapisująca.

Szczególnie korzystnie, gdy przezroczysty pasek przebiega poziomo w elemencie kształtującym.

Korzystnie jest również, gdy w wyniku modulacji natężeniowej przez modulator obniża się natężenie skupionej na powierzchni ośrodka optomagnetycznego wiązki zapisującej.

Korzystnie, gdy modulator i zwierciadło MEMS sprzężone są i sterowane za pomocą komputera.

Dodatkowo korzystnie jest, gdy laserowa wiązka rekonstruuująca jest wiązką spolaryzowaną.

Korzystnie wówczas, gdy przed oświetleniem ośrodka optomagnetycznego wiązka rekonstruuująca przechodzi przez polaryzator, a przed wejściem kamery wiązka zapisująca przechodzi przez analizator o osi polaryzacji skrzyżowanej względem osi polaryzacji polaryzatora.

Ponadto korzystnie jest, gdy impulsowa wiązka generowana jest przez laser femtosekundowy a wiązka rekonstruuująca generowana jest przez laser o długości fali w zakresie widzialnym.

Sposób według wynalazku, dzięki zespolonej modulacji amplitudowo-fazowej oraz kwantyzacji modulacji pozwala na zapis hologramów z poprawioną wydajnością

dyfrakcyjną oraz wysoką jakością odtwarzanych obrazów poprzez zwiększony ich kontrast, przy jednoczesnym zmniejszonym poziomie zaszumienia. Uzyskane w ramach sposobu obrazy wykazują ponadto poprawioną jasność oraz mniejszą widoczność powstałych duplikatów w ramach rekonstrukcji. Dodatkowo, ośrodek optomagnetyczny zachowuje przezroczystość dla światła przed, w trakcie i po zapisie hologramu, co stanowi efekt pożądany w przypadku potencjalnych zastosowań w wyświetlaczach przeziernych. Zapis wzoru dyfrakcyjnego w ośrodku optomagnetycznym, w podziale na komórki elementarne, powoduje powstanie częstości nośnej sprawiającej, że obraz holograficzny odtwarza się pozaosiowo, czyli pod kątem w stosunku do początkowego kierunku propagacji wiązki światła odtwarzającej hologram. Ponadto, zaletą wynalazku jest to, że kontrast zapisu w ośrodku optomagnetycznym, rozumiany jako wielkość skręcenia Faradaya, jest niewielki. Efekt ten również korzystnie oddziałuje w przypadku potencjalnych zastosowań w wyświetlaczach przeziernych przyocznych, gdzie nadmierna modulacja mogłaby zaburzać patrzenie przez hologram w postaci widocznych efektów dyfrakcyjnych na tle jasnych źródeł światła.

W ramach wynalazku do graficznego zapisu amplitudy i fazy hologramu przyjęto metodę Adolfa Lohmanna (B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Complex Spatial Filtering with Binary Masks," Appl. Opt. 5, 967-969 (1966)). Wspomniana metoda polega na zdefiniowaniu kształtu i położenia zapisywanych wzorów holograficznych w postaci dyskretnej, co przekładać się może na zwiększoną możliwość zespolonej modulacji w zakresie amplitudy i fazy światła przechodzącego przez wskazany do celów wynalazku ośrodek optomagnetyczny. Ogólnie, zasada zapisu Lohmanna polega na tym, że płaszczyzna częstotliwości przestrzennych hologramu podzielona jest na kwadratowe sektory o szerokości Δv_x , Δv_y , zwane komórkami dyskretyzacji. Każdej próbce $G(n\Delta v_x, m\Delta v_y)$ odpowiada jedna komórka dyskretyzacji o środku w punkcie próbkowania $v_{xn} = n\Delta v_x$, $v_{ym} = m\Delta v_y$. Zbiór wszystkich kwadratowych komórek tworzy siatkę próbkowania. Wartość amplitudy

A_{nm} i fazy φ_{nm} w danym punkcie próbkowania jest odwzorowana w postaci przezroczystej prostokątnej apertury na nieprzezroczystym tle. Wysokość apertury $W_{nm}\Delta v_y$ jest proporcjonalna do wartości amplitudy A_{nm} , natomiast faza φ_{nm} jest określona wielkością przesunięcia $P_{nm}\Delta v_x$ środka apertury względem środka komórki. Podczas odtwarzania hologramu lohmanowskiego pojawiają się obrazy w różnych rzędach dyfrakcyjnych, jak w siatce dyfrakcyjnej. Jest to spowodowane dyskretno-binarnym charakterem struktury hologramu Lohmanna.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat układu optycznego do zapisu i odtworzenia hologramu w ośrodku optomagnetycznym, fig. 2 przedstawia centralny fragment przykładowego hologramu komputerowego jako zestaw $8 \times 8 = 64$ próbek zespolonych, z których każda posiada wartość a) amplitudy (A) oraz b) fazy (φ), fig. 3 przedstawia wizualizację położenia i natężeń plamek wiązki zapisującej na powierzchni ośrodka optomagnetycznego w obszarze odpowiadającym próbkom zespolonym pokazanym na fig. 2, fig. 4 przedstawia wizualizację obszarów przełączonych pod wpływem naświetleń pokazanych na fig. 3, fig. 5 przedstawia symulację odtworzenia obrazu holograficznego z hologramu o wielkości 64×64 próbki, naświetlonego w progowym ośrodku optomagnetycznym z zastosowaniem symetrycznej plamki zgodnie ze sposobem według wynalazku, fig. 6 przedstawia testowy obraz wejściowy zakodowany w hologramie użytym zgodnie z przykładem wykonania, fig. 7 przedstawia transmitancję natężeniową elementu kształtującego wiązkę zapisującą, użytego zgodnie z przykładem wykonania, fig. 8 przedstawia wizualizację położenia i natężeń plamek wiązki zapisującej na powierzchni ośrodka optomagnetycznego w obszarze odpowiadającym obszarowi według fig. 2, fig. 9 przedstawia wizualizację obszarów przełączonych pod wpływem naświetleń pokazanych na fig. 8, fig. 10 przedstawia symulację odtworzenia obrazu holograficznego z hologramu o wielkości 64×64 próbki, naświetlonego w progowym ośrodku optomagnetycznym z wykorzystaniem

eliptycznej plamki według proponowanego sposobu według wynalazku, w opcji z użyciem elementu kształtującego wiązkę zapisującą.

Zgodnie z przykładem wykonania wynalazku, według przedstawionego na fig. 1 układu optycznego do zapisu i odtworzenia hologramów w ośrodku optomagnetycznym 7 skolimowana wiązka zapisująca 1 z lasera femtosekundowego jest modulowana natężeniowo przez modulator 2 sterowany przez komputer 3, a następnie skupiana przez soczewkę asferyczną 4 do postaci sferycznej zbieżnej wiązki zapisującej 5. Następnie bieg wiązki zapisującej 5 jest odchylany w dwóch kierunkach (góra-dół i lewo-prawo) przez mikro-mechaniczne zwierciadło 6 typu MEMS (*ang. Micro Electro-Mechanical Systems*), sterowane z komputera 3. Wązka zapisująca 5 osiąga maksymalne skupienie (przewężenie) w płaszczyźnie ośrodka optomagnetycznego 7, gdzie dokonuje przełączenia optycznego domen magnetycznych w miejscach, gdzie dawka energii impulsu przekracza próg reakcji ośrodka (zgodnie z progiem magnetyzacji domen). Do przełączenia optycznego w danym miejscu ośrodka optomagnetycznego 7 wystarczający jest pojedynczy impuls z lasera femtosekundowego o dowolnej polaryzacji. W omawianym przykładzie wykonania do zapisu hologramu zastosowano laser femtosekundowy o czasie trwania impulsu światła laserowego w przedziale 0.04-1 ps oraz o energii w impulsie rzędu 100 μJ , skupionego na powierzchni rzędu $<100 \mu\text{m}^2$ i o powierzchniowej gęstości energii $<100 \text{ mJ/cm}^2$.

W wyniku zmiany kąta zwierciadła MEMS 6, zsynchronizowanego z modulacją natężeniową przez modulator 2, dokonuje się wielu aktów naświetlenia ośrodka optomagnetycznego 7, w wielu jego punktach, tworząc tym samym dyfrakcyjny wzór holograficzny w postaci przestrzennego rozkładu magnetyzacji w domenach magnetycznych w całej objętości ośrodka optomagnetycznego 7.

W procesie odtworzenia (rekonstrukcji) tak zapisanego hologramu, w celu obserwacji pola dyfrakcyjnego używa się skolimowanej laserowej wiązki rekonstruującej 8 o długości fali w zakresie widzialnym, np. 635 nm. Wązka rekonstruująca 8, która oświetla zapisany ośrodek optomagnetyczny 7 musi być wiązką

spolaryzowaną, a zatem zgodnie z prezentowanym przykładem wykonania na jej wejściu wprowadzony został do układu polaryzator 9. Dla znawcy dziedziny wynalazku oczywistym będzie, że wiązka rekonstruująca może być od razu (tj. na wejściu do układu) wiązką spolaryzowaną.

W wyniku dyfrakcji wiązki rekonstruującej 8 na domenach magnetycznych w ośrodku optomagnetycznym 7 jej dalsza propagacja ulega odchyleniu w stosunku do jej biegu oryginalnego 11 o kąt związany z gęstością zapisu wzorów dyfrakcyjnych w ośrodku optomagnetycznym 7. Efekt ten wynika z faktu, że hologramy wg. wzoru Lohmanna z definicji posiadają nośną częstość, czyli prezentują obraz pod pewnym kątem w stosunku do kierunku propagacji wiązki światła, która pada na hologram celem odtworzenia z niego obrazu. Powoduje to, że oświetlająca go wiązka światła zmienia kąt propagacji. Biegąca pod zmienionym kątem wiązka rekonstruująca 10 przechodzi przez analizator 12, który ustawiony w konfiguracji skrzyżowanej w stosunku do polaryzatora 9 (tj. jego oś polaryzacji jest prostopadła względem osi polaryzacji polaryzatora 9). Wiazka rekonstruująca 10 niesie informacje o zakodowanym w uzyskanym w ośrodku optomagnetycznym 7 obrazie lub scenie przestrzennej. Następnie wiązka 10 zostaje skupiona przez obiektyw kamery 13 na powierzchni macierzy detekcyjnej 14. Analizy uzyskanych tak holograficznych obrazów 21 dokonuje komputer 3. W obrazie holograficznym 21 widoczny jest użyteczny obraz w pierwszym rzędzie ugięcia dyfrakcyjnego 22 oraz liczne niepożądane duplikaty 24 obrazu, co pokazano na fig. 5.

Kształt i położenie zapisywanych w ośrodku optomagnetycznym wzorów holograficznych definiowane są zgodnie z realizacją metody Lohmanna. Hologram komputerowy do zapisania jest obliczany z zastosowaniem komputera 3 przy pomocy dyskretnej transformaty Fouriera obrazu wejściowego 23 (fig. 6). Hologram obliczony jest z losowym początkowym rozkładem fazy i składa się, zgodnie z przykładem wykonania na fig. 2, z 64×64 próbek zespolonych 16/17, tj. zawierających wartość amplitudy (A) 16 oraz wartość fazy (φ) 17. Wizualizację położzeń i natężeń plamek

wiązki zapisującej 5 na powierzchni ośrodka optomagnetycznego 7 w obszarze odpowiadającym próbkom zespolonym 16/17 z fig. 2 prezentuje fig. 3. Każdej próbce hologramu na powierzchni zapisu 18 ośrodka optomagnetycznego 7 odpowiada kwadratowa komórka elementarna 19 o rozmiarach rzędu $64 \times 64 \mu\text{m}$. Miejsca zapisu danej plamki w ośrodku optomagnetycznym 7 są sterowane przez odpowiednie ustawianie kątów zwierciadła MEMS 6. Precyzyjne położenie środka obszaru przełączanego (środku zapisywanej plamki) ustalane jest w relacji do wartości fazy w odpowiadającej próbce zespolonej 17 obliczonego hologramu komputerowego. Dzięki temu światło propagując się przez próbkę doznaje opóźnień fazowego proporcjonalnego do odsunięcia środka zapisanej plamki od położenia centralnego w ramach komórki elementarnej na powierzchni zapisu 18.

Jak wspomniano powyżej, impulsowa wiązka zapisująca 1 modulowana jest natężeniowo przez modulator 2 tak, że natężenie plamki z wiązki zapisującej 5 (sterowanej co do lokalizacji skupienia przez odchylnie zwierciadło MEMS 6) w obszarze ośrodka optomagnetycznego 7 jest lokalnie obniżane. Rzeczona modulacja, rozumiana jako płynna regulacja natężenia wiązki, następuje przed każdym aktem zapisu plamki w ośrodku optomagnetycznym 7 przez pojedynczy impuls z lasera. W wyniku zastosowania zmiennego natężenia światła w miejscu zapisu 18 pole powierzchni obszaru oświetlonego 19 natężeniem powyżej progu reakcji ośrodka jest zmienne i podlega sterowaniu. W rezultacie, i co pokazano na fig. 4, przełączony optycznie zostaje obszar 20 proporcjonalny do wartości amplitudy w odpowiedniej próbce zespolonej 16 hologramu komputerowego. Celowe jest, że dzięki wymienionej modyfikacji możliwe jest uzyskanie hologramu binarnego, modulującego płynnie (tj. bezskokowo) zarówno amplitudę jak i fazę światła przechodzącego przez ośrodek optomagnetyczny 7. Innymi słowy, w wyniku precyzyjnego sterowania położeniem przełączanych obszarów 19 uzyskuje się modulację fazy wiązki rekonstruującej 8 przez ośrodek optomagnetyczny 7. Ponadto, poprzez sterowanie 2 natężeniem wiązki zapisującej 1 uzyskuje się w progowym ośrodku optomagnetycznym 7 efekt zależności pola powierzchni przełączanego optycznie obszaru 20 od natężenia wiązki zapisującej 1, tym samym uzyskując jednoczesną możliwość modulowania wiązki rekonstruującej 8 przez ośrodek optomagnetyczny 7 co do jej natężenia.

Ze względu na wybraną przez twórców metodę Lohmanna w zakresie zapisu hologramu oraz dla celów realizacji wynalazku w układzie optycznym wprowadzona jest płytka 15 kształtująca przestrzennie wiązkę zapisującą 1 o transmitancji natężeniowej pokazanej na fig. 7. Zgodnie z przykładem wykonania płytka 15 kształtująca wiązkę stanowi przezroczyste z zaciemnionymi polami górnym i dolnym oraz centralnie i poziomo przebiegającym niezaciemnionym paskiem przezroczystym, przez który propaguje się wiązka zapisująca 1. Zadaniem płytki 15 kształtującej wiązkę zapisującą 1 jest zmiana kształtu plamek światła 19 (jak pokazano na fig. 4) z kołowych na eliptyczne plamki 25 – wizualizację położeń i natężeń plamek 25 wiązki zapisującej na powierzchni ośrodka optomagnetycznego 7 pokazano na fig. 8. Zgodnie z prezentowanym przykładem wykonania, rozciągłość plamki 25 jest zwiększona tylko w kierunku y (tj. w płaszczyźnie przedstawienia układu optycznego na fig. 1, gdzie przezroczysty pasek w płytce 15 kształtującej rozciąga się ortogonalnie względem kierunku wydłużenia plamek 25), dzięki czemu efektywnie wykorzystuje się miejsce dostępne do zapisu w obrębie komórki elementarnej 19 w ośrodku optomagnetycznym 7. Stopień wydłużenia plamek 25 w kierunku y jest odwrotnie proporcjonalny do szerokości przezroczystego paska w płytce 15 kształtującej. Przewężenie plamki w płaszczyźnie zapisu w ośrodku optomagnetycznym 7 jest asymetryczne, co daje możliwość wykorzystania do zapisu w przybliżeniu trzykrotnie większej powierzchni ośrodka optomagnetycznego 7 z zachowaniem modulacji amplitudowo-fazowej uzyskiwanego hologramu, a ponadto umożliwia zmniejszenie odstępstwa od optymalnego prostokątnego kształtu plamki według metody A. Lohmanna. Wizualizacja wynikowych plamek 26, uzyskanych w konsekwencji połączonych modulacji natężeniowej wiązki przez modulator 2 oraz przestrzennym ukształtowaniem wiązki zapisującej przez płytkę 15 kształtującą pokazana jest na fig. 9.

Fig. 10 przedstawia symulację odtworzenia obrazu holograficznego z hologramu o wielkości 64x64 próbek, naświetlonego w progowym ośrodku optomagnetycznym 7 z zastosowaniem eliptycznej plamki zgodnie z proponowanym sposobem według wynalazku, w opcji z użyciem płytki 15 kształtującej wiązkę zapisującą. Widoczne jest, że w przypadku użycia płytki 15 kształtującej wiązkę zapisującą użyteczny obraz dyfrakcyjny 27 cechuje się około trzykrotnie większą jasnością w porównaniu z obrazem dyfrakcyjnym 22 pokazanym uprzednio na fig. 5. Zauważalne jest, że niepożądane duplikaty obrazu 28, w porównaniu z duplikatami 24

z fig. 5, cechują się mniejszą widocznością. Ponadto, w wyniku lepszego wykorzystania powierzchni dostępnej do zapisu w ośrodku optomagnetycznym 7 wynikowe zaszumienie obrazu dyfrakcyjnego 27 (wynoszące ok. 35%) jest w przybliżeniu 1,5 razy mniejsze w porównaniu z zaszumieniem obrazu dyfrakcyjnego 22 (wynoszącym ok. 51%) pokazanym na fig. 5.

Należy wskazać, że przedmiotowy wynalazek nie ogranicza się tylko do przedstawionych powyżej przykładów wykonania. Możliwe są różne jego modyfikacje i rozwinięcia w ramach załączonych zastrzeżeń patentowych, bez odejścia od istoty wynalazku.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób rejestracji hologramów w progowym ośrodku optomagnetycznym 7, obejmujący etapy zapisu i rekonstrukcji hologramu, przy czym w etapie zapisu skolimowaną wiązkę zapisującą 1 z lasera impulsowego kieruje się w stronę soczewki asferycznej 4 formującej wiązkę zapisującą 1 do postaci sferycznej wiązki zbieżnej, która następnie odchylana jest przez mikromechaniczne zwierciadło 6 typu MEMS oraz skupiana jest na powierzchni ośrodka optomagnetycznego 7, przy czym naświetlenie powierzchni ośrodka optomagnetycznego 7 powoduje zmianę magnetyzacji domen magnetycznych w domenach magnetycznych, w których energia impulsu laserowego przekracza próg reakcji magnetyzacji domen magnetycznych, natomiast w etapie rekonstrukcji skolimowana laserowa wiązka rekonstruująca 8 oświetla ośrodek optomagnetyczny 7, a następnie skupiana jest przez obiektyw kamery 13 na powierzchni macierzy detekcyjnej 14 tworząc płaszczyznę obserwacji, **znamienny tym że** w etapie zapisu natężenie wejściowej wiązki (1) moduluje się za pomocą modulatora (2), który sprzężony jest ze zwierciadłem MEMS (6), przy czym zwierciadło MEMS (6) odchyła się dwukierunkowo tak, że zmodulowana natężeniowo i skupiona przez soczewkę asferyczną (4) wiązka zapisująca (5) dokonuje wielu aktów naświetlenia ośrodka optomagnetycznego (7), oraz **tym, że** zmodulowana natężeniowo przez modulator (2) wiązka zapisująca (1) kształtowana jest przestrzennie przez element (15) kształtujący tak, że wiązka zapisująca (5) w punkcie przewężenia na powierzchni ośrodka optomagnetycznego (7) ma asymetryczny przekrój poprzeczny.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym, że** element (15) kształtujący stanowi płytka z przezroczą z zaciemnionymi symetrycznie obszarami oraz centralnym, przebiegającym jednokierunkowo przezroczystym paskiem o zadanej szerokości, przez który propaguje się wiązka zapisująca (1).
3. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym, że** przezroczysty pasek przebiega poziomo w elemencie (15) kształtującym wiązkę.

4. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym, że** w wyniku modulacji natężeniowej przez modulator (2) obniża się natężenie skupionej na powierzchni ośrodka optomagnetycznego (7) wiązki zapisującej (5).
5. Sposób według zastrz. 1 albo 4, **znamienny tym, że** modulator (2) i zwierciadło MEMS (6) sprzężone są i sterowane za pomocą komputera (3).
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym, że** laserowa wiązka rekonstruująca (8) jest wiązką spolaryzowaną.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym, że** przed oświetleniem ośrodka optomagnetycznego (7) wiązka rekonstruująca (8) przechodzi przez polaryzator (9), a przed wejściem kamery (13) wiązka rekonstruująca (10) przechodzi przez analizator (12) o osi polaryzacji skrzyżowanej względem osi polaryzacji polaryzatora (9).
8. Sposób według któregokolwiek z powyższych zastrzeżeń, **znamienny tym, że** impulsowa wiązka zapisująca (1) generowana jest przez laser femtosekundowy.
9. Sposób według któregokolwiek z powyższych zastrzeżeń, **znamienny tym, że** wiązka rekonstruująca (8) generowana jest przez laser o długości fali w zakresie widzialnym.

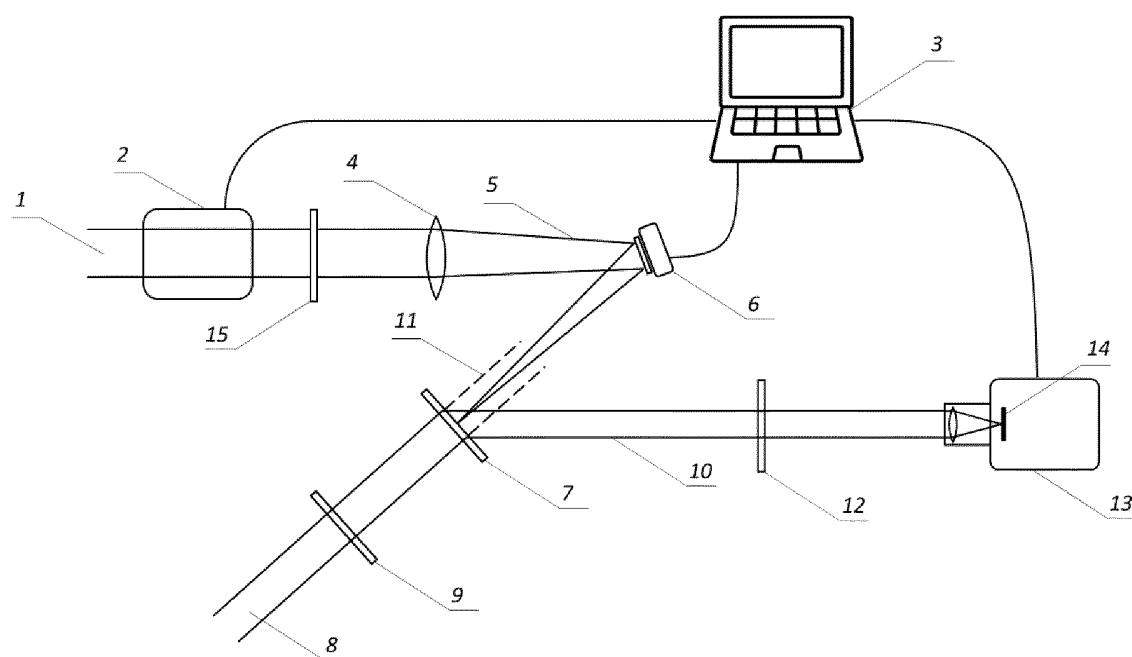


Fig. 1

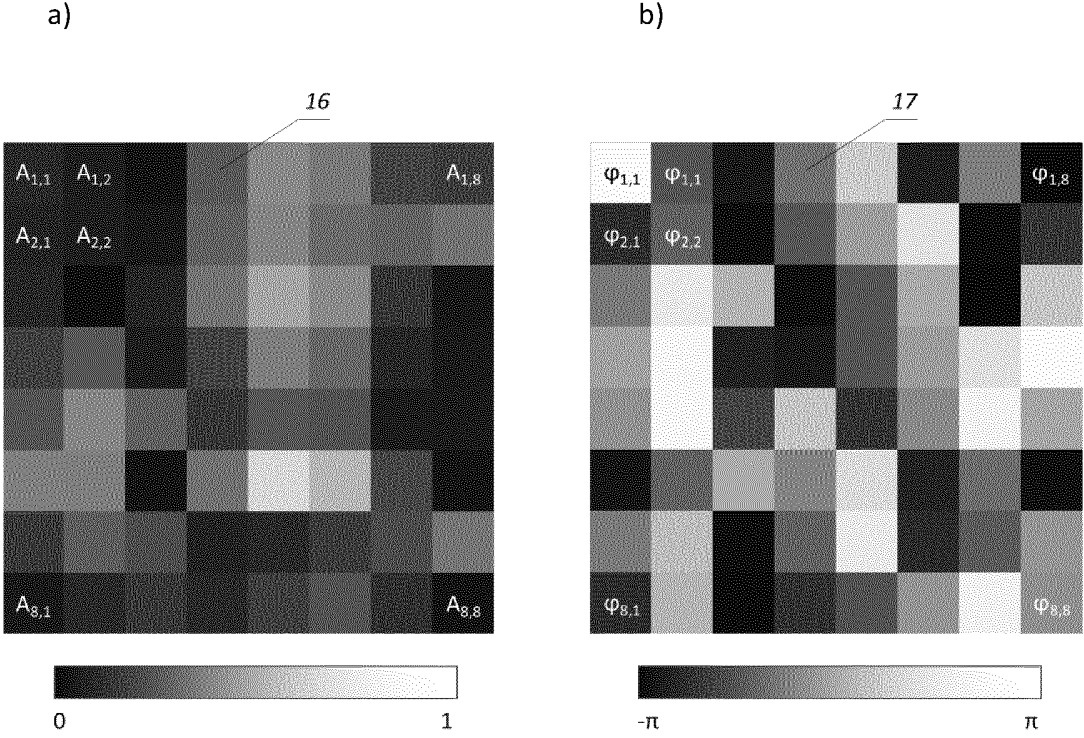


Fig. 2

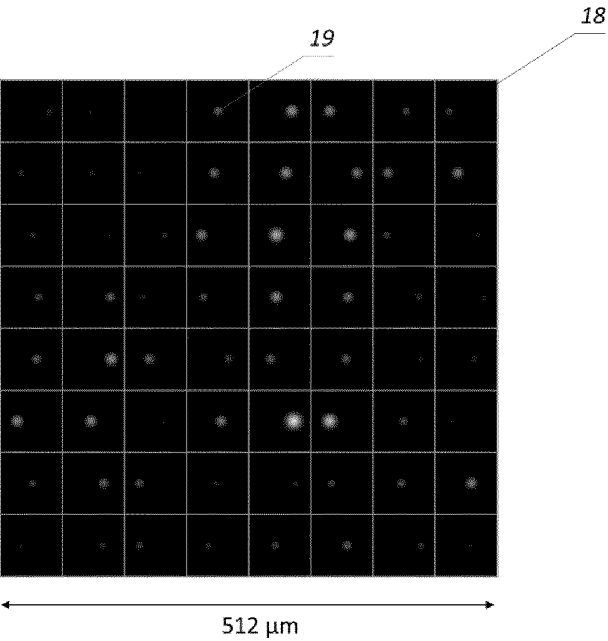


Fig. 3

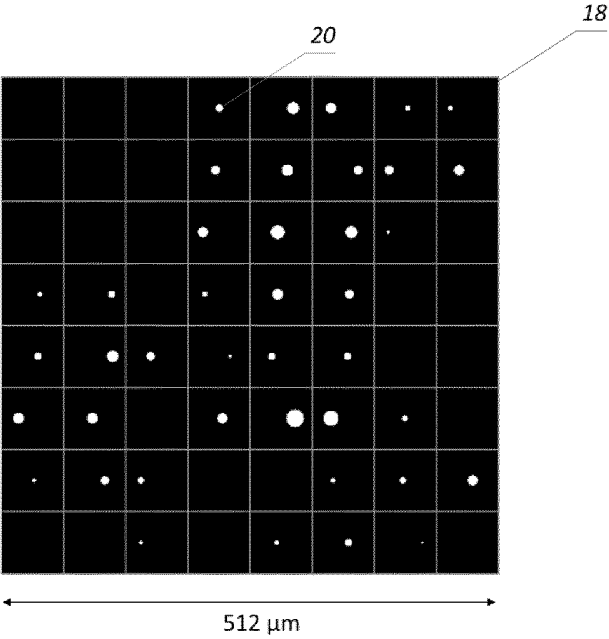


Fig. 4

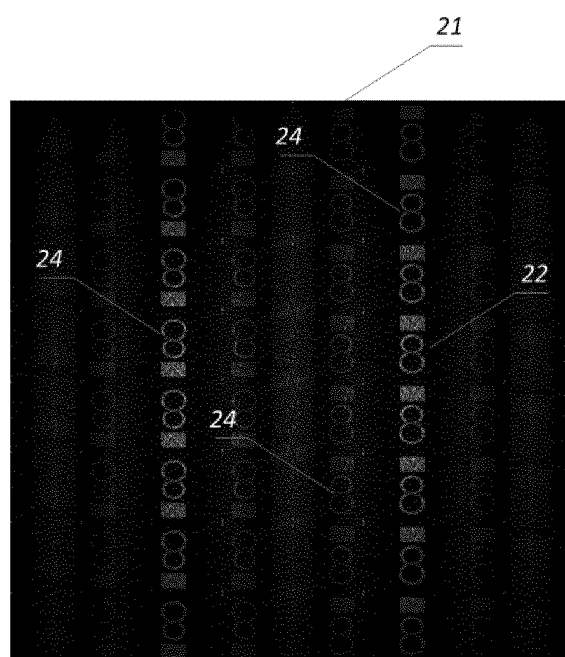


Fig. 5

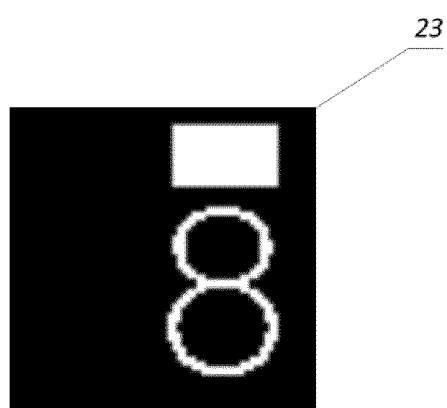


Fig. 6

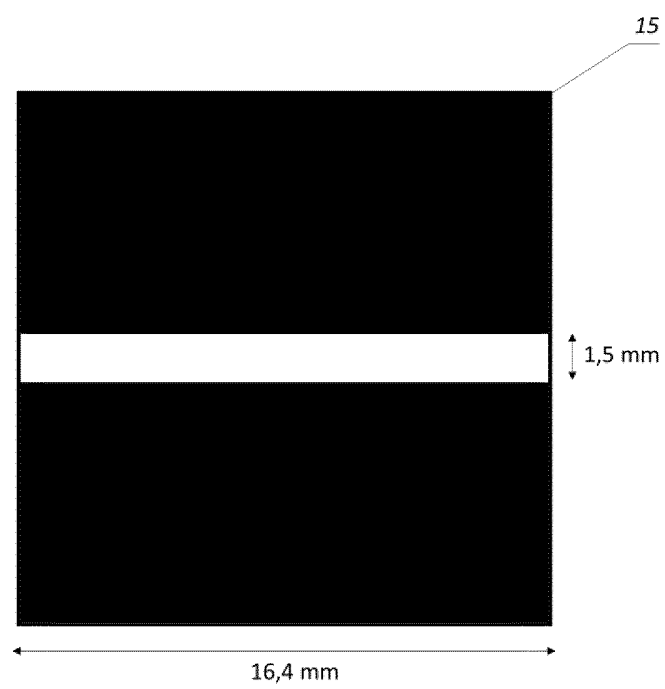


Fig. 7

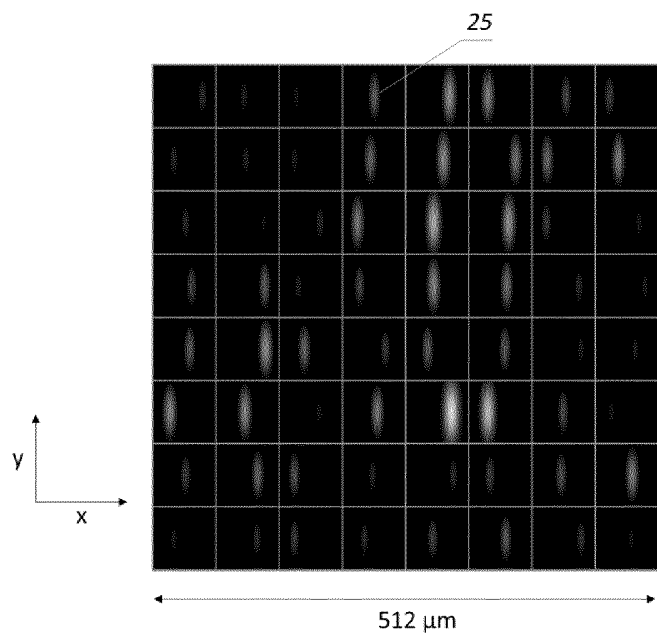


Fig. 8

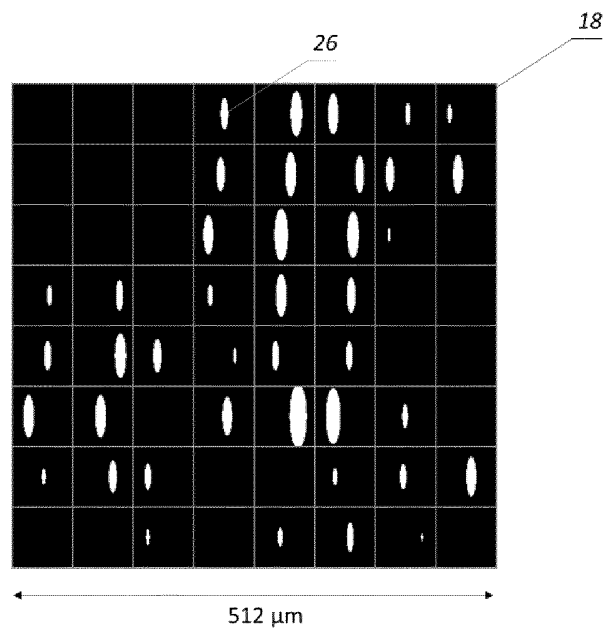


Fig. 9

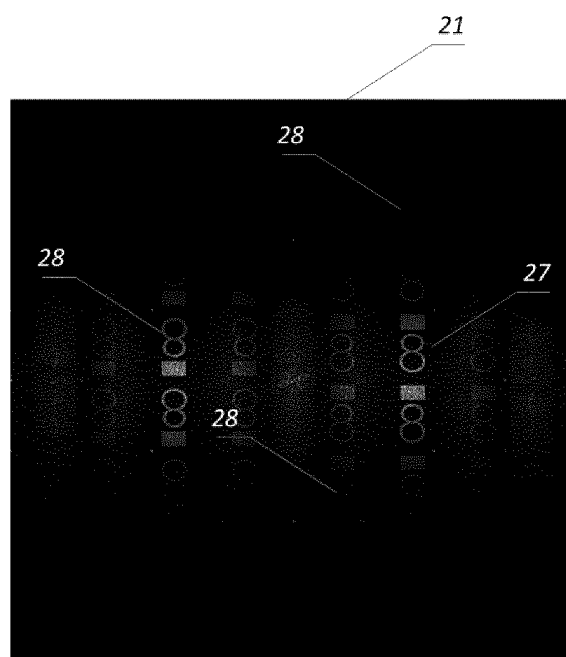


Fig. 10



SPRAWOZDANIE O STANIE TECHNIKI ZGŁOSZENIA NR P.439338

Klasyfikacja zgłoszenia: G03H1/00 (2006.01); G03H1/04 (2006.01); G03H1/26 (2006.01); G06K19/16 (2006.01); G11B7/00 (2006.01); G11B7/131 (2012.01)

Poszukiwania prowadzone w klasach:

Bazy komputerowe, w których prowadzono poszukiwania:

Kategoria dokumentu	Dokumenty – z podaną identyfikacją	Odniesienie do zastrz.

☐ Dalszy ciąg wykazu dokumentów na następnej stronie

A – dokument określający ogólny stan techniki, który nie jest uważany za posiadający szczególne znaczenie,
E – dokument stanowiący wcześniejsze zgłoszenie lub patent, ale opublikowany w lub po dacie zgłoszenia,
L – dokument, który może poddawać w wątpliwość zastrzegane pierwszeństwo(-wa), lub przytoczony w celu ustalenia daty publikacji innego cytowanego dokumentu lub z innego szczególnego powodu,
O – dokument odnoszący się do ujawnienia ustnego przez zastosowanie, wystawienie lub ujawnienie w inny sposób,
P – dokument opublikowany przed datą zgłoszenia, ale później niż zastrzegana data pierwszeństwa,
T – dokument późniejszy, opublikowany po dacie zgłoszenia lub w dacie pierwszeństwa
i niebędący w konflikcie ze zgłoszeniem, ale cytowany w celu zrozumienia zasad lub teorii leżących u podstaw wynalazku,
X – dokument o szczególnym znaczeniu; zastrzegany wynalazek nie może być uważany za nowy lub nie może być uważany za posiadający poziom wynalazczy, jeżeli ten dokument brany jest pod uwagę samodzielnie,
Y – dokument o szczególnym znaczeniu; zastrzegany wynalazek nie może być uważany za posiadający poziom wynalazczy, jeżeli ten dokument zostanie połączony z jednym lub kilkoma tego typu dokumentami, a takie połączenie będzie oczywiste dla znawcy,
& – dokument należący do tej samej rodziny patentowej.

Sprawozdanie wykonał/-a: Ireneusz Słomka, ekspert

data 28.06.2022r. podpis

/-Dokument podpisany elektronicznie-/

Uwagi do zgłoszenia

Urząd uznał, że sprawozdanie o stanie techniki w oparciu o wersję zastrzeżeń patentowych z 27.10.2021 r. nie musiało zostać wykonane.
Podstawa: § 29 ust. 2a rozporządzenia w sprawie dokonywania i rozpatrywania zgłoszeń wynalazków i wzorów użytkowych (Dz. U. z 2001 r. Nr 102 poz. 1119, z 2005 r. Nr 109 poz. 910 i z 2015 r. poz. 366).