

Sposób tworzenia obrazu wielopłaszczyznowego z użyciem zmiennoogniskowej soczewki oraz urządzenie do realizacji tego sposobu

Przedmiotem wynalazku jest sposób tworzenia obrazu wielopłaszczyznowego z użyciem zmiennoogniskowej soczewki oraz urządzenie do realizacji tego sposobu, mający zastosowanie w przemyśle optycznym.

Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na nowe technologie, zostało zaproponowanych szereg różnych rozwiązań mających obejść ograniczenie klasycznej soczewki – jej stałą ogniskową, f . Jednym z nich jest sztuczna elastyczna soczewka wewnętrzna, która została omówiona w publikacji NuLens[®] intraocular lens, NuLens Ltd. Herzliya, Israel, US patent 20070244561 A1. Kształt soczewki jest zmieniany poprzez nacisk mięśni ludzkiego oka. Innym są soczewki polimerowe o zmiennej ogniskowej, działające na zasadzie deformacji elastycznej powierzchni łąniającej soczewki poprzez zmianę ciśnienia cieczy, którą ta powierzchnia zamyka, co zostało przedstawione w Chen J., Wang W., Fang J., Varahramyan K. "Variable-focusing microlens with microfluidic chip" *J. Micromech. Microeng.* 14 (2004) 675–680. b) Agarwal M., Gunasekaran R.A., Coane P., Varahramyan K. "Polymer-based variable focal length microlens system" *J. Micromech. Microeng.* 14 (2004) 1665–1673. c) Zhang D.-Y., Lien V., Berdichevsky Y., Choi J., Lo Y.-H. "Fluidic adaptive lens with high focal length tenability" *Appl. Phys. Lett.* 82 (2003) 3171-3172, bądź poprzez mechaniczną deformację jednej z powierzchni polimerowych soczewki, opisane w Wiśniewska B., Wiśniewski W. "Element optyczny o zmiennych właściwościach oraz sposób wytwarzania element optycznego o zmiennych właściwościach" patent PL 191979B1. Opracowano również oparte na elektrostatycznym działaniu soczewki cieczowe zmiennoogniskowe, których kształt jest zmieniany przez przyłożenie odpowiedniego napięcia między dwie elektrodami zilustrowane w Kwon S., Lee L.P. "Focal Length Control by Microfabricated Planar Electrodes-based Liquid Lens (μ PELL)" *Proc. 11th Int. Conf. Solid State Sens. Act. Trans.* 1342 (2001) 1348-1351, Berge B. "Liquid lens technology: principle of electrowetting based lenses and applications to imaging" *Proc. 18th IEEE Int. Conf. Mic. Elec. Mech. Syst.* 2005, 227-230, Cheng C.C., Chang C.A., Yeh J.A. "Variable focus dielectric liquid droplet lens" *Opt. Express* 14 (2006) 4101-4106.

Wszystkie wymienione wyżej techniki opierają się na zmianie kształtu soczewki, która prowadzi do zmiany jej ogniskowej. Zdolność skupiająca tych soczewek wynika zatem z ich kształtu, modyfikującego drogę optyczną światła. Oprócz elementów optycznych

posiadających powierzchnię łamiącą bieg promieni świetlnych, zdolność skupiającą lub rozpraszającą światło wykazuje również ośrodek o kształcie np. prostopadłościennym, w którym występuje odpowiednio utworzony rozkład współczynnika załamania, ∇n . Elementy optyczne o tego typu dystrybucji ∇n , noszą nazwę elementów gradientowych typu GRIN (ang. *gradient refractive index*), i produkowane są w roli np. soczewki czy światłowodu. Powszechnie dostępne elementy optyczne gradientowe mają jednak rozkład ∇n ustalany już w czasie ich produkcji. Zatem, nie mogą zapewnić one zmienno-ogniskowości. Wszystkie ich właściwości optyczne są sztywno ustalone, podobnie jak w przypadku klasycznej soczewki wykonanej ze szkła czy polimeru. Rozkład ∇n może jednak zostać wytworzony chwilowo w materiale pierwotnie jednorodnym optycznie. Cel ten można osiągnąć w materiałach przynajmniej trzech rodzajów. (1) Pierwszy z nich to materiał o właściwościach termo-optycznych. Absorpcja wiązki lasera powoduje lokalne podgrzanie materiału. Niejednorodność natężenia wiązki lasera w jej przekroju poprzecznym, postępujący wraz z wnikaniem światła w głąb materiału spadek natężenia wiązki lasera, oraz wymiana ciepła zachodząca między obszarami materiału o różnej temperaturze prowadzą do powstania w materiale termo-optycznym niejednorodnego rozkładu temperatury. Rozkład ten przekład się na niejednorodny rozkład współczynnika załamania ∇n . Zjawisko to określa się mianem cieplnego ogniskowania, a soczewkę tak powstałą określa się mianem soczewki cieplnej. (2) Drugim rodzajem materiału, w którym wiązka laserowa może wytworzyć rozkład współczynnika załamania ∇n jest materiał fotorefrakcyjny. Wiązka laserowa wytwarza w materiale fotorefrakcyjnym trwałą lub chwilową zmianę rozkładu ładunku elektrycznego, która skutkuje powstaniem lokalnego pola elektrycznego modyfikującego poprzez efekt elektro-optyczny współczynnik załamania materiału, prowadząc do powstania rozkładu ∇n . (3) Trzecim rodzajem materiału, w którym wiązka laserowa może wytworzyć rozkład współczynnika załamania jest polimerowy materiał fotoczuły, taki jak użyty w Angelini, A., Pirani, F., Frascella, F., Ricciardi, S., Descrovi, E. „Light-driven liquid microlens” Proc. of SPIE 10106, 1010610 (2017). Składa się on z cząsteczek polimerów zawieszonych w cieczy, których konformacja ulega modyfikacji na skutek absorpcji fotonu wiązki lasera. Zmiana konformacji prowadzi do zmiany gęstości, a ta do powstania rozkładu współczynnika załamania, ∇n . W ogólności wiązka lasera może również wywołać pojawienie się sił elektrostrykcyjnych, optycznego efektu Kerra czy efektu elektrokalorycznego prowadzących do powstania rozkładu ∇n , które zostały omówione w Kielich S. “Molekularna optyka nieliniowa” PWN, Warszawa-Poznań, 1977. Obecny stan wiedzy i techniki wskazuje, że to materiały typu (1) oraz (3) najlepiej nadają się do tworzenia soczewek indukowanych wiązką laserową. W każdym przypadku, w którym tworzony przy użyciu wiązki lasera rozkład ∇n nadaje światłu opóźnienie fazowe analogiczne do soczewki tradycyjnej, element optyczny, w którym taki rozkład ∇n występuje nazywamy soczewką. Materiał, w którym taka soczewka może zostać utworzona będzie dalej określane mianem materiału AGRIN (ang. active GRIN), a soczewka utworzona w takim materiale poprzez jego oświetlenie wiązką lasera będzie dalej określana mianem soczewki AGRIN.

Soczewkę AGRIN można utworzyć wiązką lasera propagującą w kierunku równoległym do osi optycznej układu optycznego, którego soczewka AGRIN jest podzespołem, lub w kierunku poprzecznym do tej osi. W pierwszym przypadku, soczewka AGRIN może posiadać symetrię osiową, względem osi optycznej układu, którego soczewka jest podzespołem. W drugim przypadku soczewka AGRIN takiej symetrii nie wykazuje, a może funkcjonować w układzie optycznym, którego jest ona podzespołem, jako soczewka cylindryczna.

Dotychczasowe rozważania na temat stosowalności soczewki AGRIN w obrazowaniu, dotyczyły soczewek współosiowych względem osi optycznej układu, którego soczewka była podzespołem. We wszystkich takich rozważaniach przekrój poprzeczny względem osi optycznej układu, mierzony dla zastosowanego elementu z materiału AGRIN oraz przekrój poprzeczny wiązki lasera tworzącej soczewkę AGRIN w tym materiale, miały średnice większe od przysłony aperturowej całego układu optycznego zawierającego samą soczewkę AGRIN. Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat układu optycznego zaprezentowanego w Angelini, A., Pirani, F., Frascella, F., Ricciardi, S., Descrovi, E. „Light-driven liquid microlens” Proc. of SPIE 10106, 1010610 (2017). Jest to mikroskop z obiektywem 2 tworzącym obraz przedmiotu obserwacji 1 w nieskończoności. Bez obecności soczewki AGRIN 6, obraz ten jest następnie zamieniany przez okular 3 na obraz 4 powstały w płaszczyźnie obrazowej w skończonej odległości od obrazowej płaszczyzny głównej okularu. Dla klarowności opisu Fig. 1 nie uwzględnia żadnych aberracji układu optycznego. Podobnie bieg promieni zilustrowany na Fig. 1 nie musi wiernie odpowiadać biegowi narzuconemu przez kształt zilustrowanych schematycznie soczewek, a ma charakter wyłącznie poglądowy. Obecność materiału AGRIN w postaci płytki AGRIN 5, w którym jest tworzona soczewka rozpraszająca AGRIN 6, o przekroju wyraźnie większym od przysłony aperturowej układu, pozwala na utworzenie obrazu 4' w tej samej płaszczyźnie obrazowej, w której powstaje obraz 4 bez obecności soczewki AGRIN 6, przy czym obraz 4' odpowiada przedmiotowi 1' znajdującemu się w innej płaszczyźnie przedmiotowej niż przedmiot 1. Soczewka AGRIN 6 jest współosiowa z obiektywem i okulem, i modyfikuje kierunek biegu wszystkich promieni świetlnych przechodzących przez układ optyczny mikroskopu. Oznacza to, że obecność soczewki AGRIN zmienia płaszczyznę przedmiotową mikroskopu.

Dzięki zastosowaniu rozwiązania według wynalazku uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- możliwość uzyskania, w tej samej płaszczyźnie obrazowej układu optycznego zaopatrzonego w rozwiązanie, ostrego obrazu dwóch (lub więcej) przedmiotów znajdujących się w dwóch (lub więcej) różnych płaszczyznach przedmiotowych, przy czym odległość dzieląca te płaszczyzny przedmiotowe, mierzona w kierunku osi optycznej układu, może przekraczać odległość odpowiadającą maksymalnej głębi ostrości układu optycznego zaopatrzonego w rozwiązanie, natomiast przedmioty te nie mogą się wzajemnie zasłaniać,

- możliwość automatycznego dostosowywania ogniskowej soczewki(-ek) AGRIN stanowiącej integralną część rozwiązania oraz automatycznej zmiany położenia tej samej soczewki(-ek) AGRIN w celu automatycznego otrzymywania ostrego obrazu dwóch (lub więcej) przedmiotów, z których jeden (lub więcej) znajdują się w ruchu, przy jednoczesnej obserwacji ostrego obrazu jednego (lub więcej) przedmiotu nieruchomego, przy czym przedmioty ruchome i nieruchome mogą znajdować się w różnych płaszczyznach

przedmiotowych układu optycznego zaopatrzonego w rozwiązanie, oddalonych od siebie o odległość przekraczającą tę, która odpowiada głębi ostrości układu optycznego zaopatrzonego w rozwiązanie, natomiast przedmioty te nie mogą się wzajemnie zasłaniać,

- możliwość skupiania światła pojedynczej wiązki laserowej w jednym lub kilku różnych punktach przestrzeni obrazowej elementu optycznego stanowiącego rozwiązanie, przy czym położenie tych punktów może być zmieniane w sposób ciągły zarówno w kierunku osi optycznej elementu optycznego stanowiącego rozwiązanie, jak w płaszczyźnie do tej osi prostopadłej,

- możliwość skupiania światła wielu wiązek laserowych w różnych punktach przestrzeni obrazowej elementu optycznego stanowiącego rozwiązanie, przy czym położenie tych punktów może być zmieniane w sposób ciągły w kierunku osi optycznej elementu.

Istotą wynalazku jest sposób tworzenia obrazu wielopłaszczyznowego z użyciem zmiennoogniskowej soczewki polegający na tym, że wiązkę promieni świetlnych pochodzącą z dowolnego źródła światła kieruje się na przedmiot obserwacji, który odbija lub przepuszcza część tych promieni świetlnych, na drodze których umieszcza się co najmniej jedną soczewkę AGRIN typu rozpraszającego albo skupiającego oraz co najmniej jedną soczewkę skupiającą klasyczną lub typu AGRIN, w taki sposób, że promienie świetlne odbite od lub przepuszczone przez fragment przedmiotu obserwacji przenikają przez soczewkę AGRIN, a promienie świetlne odbite lub przepuszczone przez pozostały fragment przedmiotu obserwacji nie przenikają przez soczewkę AGRIN, natomiast przenikają przez płytkę AGRIN w obszarze o jednorodnym rozkładzie współczynnika załamania ∇n , przy czym wszystkie promienie, które przenikają przez płytkę AGRIN przeniknęły uprzednio, lub przenikają następnie przez co najmniej jedną soczewkę skupiającą klasyczną lub typu AGRIN, w wyniku czego promienie pochodzące od przedmiotu obserwacji, które przeniknęły soczewkę AGRIN tworzą ostry obraz fragmentu przedmiotu obserwacji w innej odległości obrazowej mierzonej od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN, a promienie pochodzące od fragmentu przedmiotu obserwacji nieprzenikające soczewki AGRIN, a tworzą ostry obraz fragmentu przedmiotu obserwacji w tej samej odległości obrazowej mierzonej od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN, w której powstaje obraz drugiego przedmiotu obserwacji, znajdującego się w innej płaszczyźnie przedmiotowej niż przedmiot obserwacji, z którego to przedmiotu obserwacji wszystkie promienie świetlne, które przechodzą przez układ optyczny użyty do obrazowania, przenikają soczewkę AGRIN, które uczestniczą w utworzeniu ostrego obrazu przedmiotu obserwacji w jednej płaszczyźnie obrazowej, tożsamej z płaszczyzną, w której powstał ostry obraz fragmentu przedmiotu obserwacji, przy czym po umieszczeniu w płycie AGRIN kolejnej soczewki AGRIN, o odpowiednio dobranej ogniskowej, wszystkie promienie świetlne odbite od lub przenikające przez fragment kolejnego przedmiotu obserwacji, które przechodzą przez układ optyczny użyty do obrazowania i przenikają przez soczewkę AGRIN tworzą obraz tego fragmentu przedmiotu obserwacji w tej samej odległości obrazowej mierzonej od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN, w której powstaje obraz przedmiotu oraz fragmentu przedmiotu.

Korzystnym jest, gdy soczewkę AGRIN rozpraszającą stosuje się, gdy przedmiot obserwacji usytuowany jest w odległości przedmiotowej większej od przedmiotu obserwacji.

Korzystnym jest również, gdy soczewkę AGRIN skupiającą stosuje się, gdy przedmiot obserwacji usytuowany jest w odległości przedmiotowej mniejszej od przedmiotu obserwacji

Korzystnym jest także, gdy promienie świetlne odbite lub przepuszczone przez przedmioty obserwacji przed przeniknięciem przez płytkę AGRIN, w której tworzona jest soczewka AGRIN, dodatkowo przenikają przez kolejne elementy optyczne, pełniące funkcje co najmniej jednej soczewki skupiającej klasycznej lub typu AGRIN.

Korzystnym jest, gdy promienie świetlne przechodzące przez płytkę AGRIN, w której tworzona jest soczewka AGRIN, dodatkowo przenikają przez kolejne elementy optyczne, pełniące funkcje co najmniej jednej soczewki skupiającej klasycznej lub typu AGRIN.

Ponadto korzystnym jest, gdy promienie świetlne odbite lub przepuszczone przez przedmioty obserwacji przed przeniknięciem przez płytkę AGRIN, w której tworzona jest soczewka AGRIN, dodatkowo przenikają przez kolejne elementy optyczne, pełniące funkcje co najmniej jednej soczewki skupiającej klasycznej lub typu AGRIN, natomiast promienie świetlne przechodzące przez płytkę AGRIN, w której tworzona jest soczewka AGRIN, po przejściu przez płytkę AGRIN dodatkowo przenikają przez kolejne elementy optyczne, pełniące funkcje co najmniej jednej soczewki skupiającej klasycznej lub typu AGRIN.

Urządzenie do tworzenia obrazu wielopłaszczyznowego z wykorzystaniem zmienneogniskowej soczewki zawierające źródło światła laserowego, uchwyt przesuwany w dwóch prostopadłych względem siebie kierunkach, element optyczny przepuszczający światło obrazowane w szerokim zakresie spektralnym, a odbijający światło laserowe, płytkę AGRIN, filtr nie przepuszczający światła laserowego, oraz obudowę utrzymującą podzespoły w stałych wzajemnych odległościach, charakteryzuje się tym, że źródło światła laserowego jest kolimatorem światłowodowym podłączonym do lasera zewnętrznego, które zamocowane jest w uchwycie przesuwany, działającym w dwóch kierunkach, prostopadłych do kierunku biegu wiązki lasera opuszczającej źródło światła laserowego, które zamocowane jest do uchwytu przesuwany zaciskiem, przy czym element optyczny jest usytuowany w obudowie w taki sposób, że przepuszcza wiązkę światła obrazowanego, a odbija wiązkę lasera, a płytkę AGRIN jest zamocowana w obudowie w taki sposób, że wiązka lasera pada nią prostopadle, a za płytkę AGRIN usytuowany w obudowie jest filtr pochłaniający światło wiązki lasera jest przez element optyczny.

Korzystnym jest, gdy źródłem światła laserowego jest laser diodowy.

Korzystnym jest również, gdy w obudowie dodatkowo umieszcza się kolejne źródło światła laserowego, będące kolimatorem światłowodowym podłączonym do lasera zewnętrznego, które zamocowane jest w uchwycie przesuwany, działającym w dwóch kierunkach, prostopadłych do kierunku biegu wiązki lasera opuszczającej źródło światła laserowego, które zamocowane jest do uchwytu przesuwany zaciskiem, przy czym element optyczny, zamocowany w obudowie, przepuszcza wiązkę lasera, a odbija wiązkę lasera kierując obie równolegle na element optyczny, a część światła, która przez element optyczny zostaje skierowana pod kątem prostym względem wiązek skierowanych na element optyczny zostaje pochłonięta przez element obudowy.

Korzystnym jest także, gdy źródłem światła laserowego jest laser diodowy.

Również korzystnym jest, gdy elementem optycznym jest lustro dichroiczne albo kostka polaryzująca.

Wynalazek w przykładowym, ale nie ograniczającym wykonaniu, został przedstawiony na rysunkach, gdzie Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat układu optycznego zaprezentowanego w Angelini, A., Pirani, F., Frascella, F., Ricciardi, S., Descrovi, E. „Light-driven liquid microlens” Proc. of SPIE 10106, 1010610 2017, Fig. 2 przedstawia układ optyczny z pojedynczą soczewką AGRIN, Fig. 3 ilustruje wariant wynalazku z użyciem dwóch soczewek AGRIN, Fig. 4 ilustruje schematycznie metodę tworzenia soczewki AGRIN 6' w płytce AGRIN 5, Fig. 5 przedstawia rozwiązanie z użyciem jednej wiązki lasera, na Fig. 6 przedstawiono rozwiązanie wykorzystujące małe lasery jako źródła dwóch wiązek lasera, a Fig. 7 przedstawia przykładowe zdjęcie powstałego obrazu.

Na Fig. 2 schematycznie przedstawiono układ optyczny, w wariacie z pojedynczą soczewką AGRIN. Układ ten składa się z trzech wyróżnionych podzespołów całego zbioru elementów optycznych tworzących układ obrazujący. Są to elementy optyczne tworzące podzbiór 2, płytka AGRIN 5, oraz podzbiór 3 elementów optycznych. Jeżeli przyjąć, że soczewka oka ludzkiego albo kamery nie stanowią elementu podzespołu 3, wówczas w ogólności do obrazowania może zostać użyta wyłącznie płytka AGRIN 5, lub płytka AGRIN 5 i podzbiór 2 elementów optycznych, lub płytka AGRIN 5 i podzbiór 3 elementów optycznych, lub wszystkie trzy podzespoły przedstawione na Fig. 2. Na Fig. 2 zilustrowano uproszczony schemat mikroskopu zawierającego soczewkę AGRIN 6', a podzbiór 2 elementów optycznych odgrywa w nim rolę obiektywu, natomiast podzbiór 3 elementów optycznych odgrywa w nim rolę okularu i dla uproszczenia są oba te podzbiory zilustrowane jako pojedyncze soczewki. W płytce AGRIN 5 wytwarzany jest za pomocą niezilustrowanej wiązki laserowej obszar o niejednorodnym rozkładzie współczynnika załamania ∇n , odgrywający rolę soczewki AGRIN 6' o właściwie dobranej ogniskowej. Soczewka AGRIN 6' różni się od soczewki AGRIN 6 średnicą przekroju. W przypadku soczewki AGRIN 6' średnica ta jest wyraźnie mniejsza od przystony aperturowej układu optycznego (np. mikroskopu), którego soczewka AGRIN jest podzespołem. Na Fig. 2 soczewka AGRIN 6' jest zlokalizowana współosiowo z osią optyczną obiektywu 2 i okularu 3 tj. leży w osi optycznej układu. Nie musi tak być. W ogólności może zostać utworzona za pomocą wiązki laserowej w obszarze pozaosiowym. Fig. 2 schematycznie ilustruje działanie soczewki AGRIN 6'. Fig. 2 nie uwzględnia żadnych aberracji układu optycznego. Podobnie bieg promieni zilustrowany na Fig. 2 nie musi wiernie odpowiadać biegowi narzuconemu przez kształt zilustrowanych schematycznie soczewek, a ma charakter wyłącznie poglądowy. Na Fig. 2 zilustrowano dwa przedmioty obrazowania. Przedmiot 1 opuszczają dwa typy promieni: pęk promieni aperturowych i pęk promieni połowych. Promienie aperturowe przenikają soczewkę AGRIN 6'. Promienie połowe przenikają płytkę AGRIN 5, lecz w obszarze o jednorodnym rozkładzie współczynnika załamania ∇n . W zilustrowanym na Fig. 2 przykładowym układzie soczewka AGRIN 6' jest typu rozpraszającego. Dzieje się tak, gdy niejednorodny rozkład współczynnika załamania ∇n odpowiada najmniejszej wartości współczynnika załamania n w osi soczewki AGRIN, a maksymalnej na jej brzegach. Promienie aperturowe przedmiotu 1 zostają w efekcie odchylone od osi optycznej soczewki AGRIN. To prowadzi do powstania obrazu 4'' osiowego punktu przedmiotu 1 w odległości od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN 6' większej niż bez obecności soczewki AGRIN 6'. Promienie połowe przedmiotu 1 nie ulegają dodatkowemu ugięciu i tworzą obraz 4 przedmiotu 1 w odległości od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN 6' mniejszej niż w obecności soczewki AGRIN 6'. Przedmiot 1' znajduje się w odległości mierzonej od pierwszej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN 6' większej niż przedmiot 1. W efekcie obiektyw tworzy obraz przedmiotu 1' w skończonej odległości obrazowej. Przedmiot 1' jest jednak na tyle małych rozmiarów, że zarówno

promienie aperturowe jak i polowe, których pęki opuszczają przedmiot 1', przenikają przez soczewkę AGRIN 6'. Soczewka AGRIN tak modyfikuje bieg promieni aperturowych i polowych przedmiotu 1', że obraz przedmiotu 1' ponownie jest tworzony w nieskończoności. W efekcie okular tworzy obraz 4' przedmiotu 1' w tej samej płaszczyźnie obrazowej okularu, w której znajduje się obraz 4 przedmiotu 1. Możliwa jest równoczesna obserwacja ostrych obrazów 4 fragmentu przedmiotu 1, oraz 4' całego przedmiotu 1'.

Fig. 3 ilustruje wariant wynalazku z użyciem dwóch soczewek AGRIN 6' i AGRIN 6". W płytce AGRIN 5 za pomocą dodatkowej wiązki lasera wytwarzana jest dodatkowa soczewka AGRIN 6" o odpowiedniej ogniskowej. Pęk promieni polowych opuszczający fragment dodatkowego przedmiotu obserwacji 1''' przenikający przez soczewkę AGRIN 6" zostaje uformowany w taki sposób, że tworzy obraz 4''' fragmentu przedmiotu obserwacji 1''' w takiej samej odległości od drugiej płaszczyzny głównej soczewki AGRIN 6', w jakiej powstaje obraz przedmiotu obserwacji 1' oraz fragmentu przedmiotu obserwacji 1. W efekcie w tej samej płaszczyźnie obserwacji tworzony jest obraz trzech przedmiotów obserwacji leżących w różnych płaszczyznach przedmiotowych.

Fig. 4 ilustruje schematycznie metodę tworzenia soczewki AGRIN 6' w płytce AGRIN 5. Promienie przedmiotów obrazowanych 1 i 1' tworzą wiązkę światła obrazowanego 7. Strzałka na ilustracji tej wiązki przedstawia kierunek propagacji od przedmiotu do obrazu. Wiązka lasera 8 o długości fali, λ_{laser} , dobranej właściwie do materiału AGRIN płytki AGRIN 5, jest kierowana za pomocą działającego w dowolny sposób układu przesuwającego 10 w stronę elementu optycznego 9 przepuszczającego wiązkę światła obrazowanego 7, a odbijającego wiązkę lasera 8. Na ilustracji wiązki lasera naniesiono strzałkę obrazującą kierunek propagacji wiązki lasera. Elementem optycznym 9 może być np. lustro dichroiczne, kostka polaryzująca lub każdy inny element optyczny spełniający powyższy warunek odbijania wiązki 8, a przepuszczania wiązki 7. Odbita od elementu 9 wiązka lasera porusza się równolegle do osi optycznej układu 14 i pada na płytkę AGRIN 5 zbudowaną z materiału AGRIN, w którym tworzy soczewkę AGRIN 6'. Za płytką AGRIN 5 znajduje się filtr 12, który nie przepuszcza światła o długości fali wiązki lasera 8, λ_{laser} , której część mogła przeniknąć przez płytkę AGRIN 5, natomiast filtr 12 przepuszcza światło o innej długości niż długość światła wiązki lasera 8. Obecność filtra 12 nie jest konieczna, jeżeli zakres intensywności wiązki lasera 8 oraz właściwości optyczne płytki AGRIN 5 (np. jej współczynnik transmisji dla długości fali λ_{laser}) są tak dobrane, że dla dowolnej intensywności wiązki lasera 8 światło wiązki lasera nie przenika płytki AGRIN 5. Zilustrowana przykładowo soczewka AGRIN 6' na Fig. 4 jest typu rozpraszającego i czyni część 13 wiązki obrazowanej 7 przez układ, a przechodzącej przez soczewkę AGRIN 6' bardziej rozbieżną/mniej zbieżną w stosunku do wiązki 7 wchodzącej do płytki AGRIN 5.

Właściwy dobór długości fali, λ_{laser} , wiązki lasera 8 do materiału AGRIN płytki AGRIN 5 oznacza, że jest ona pochłaniana przez materiał AGRIN i prowadzi do utworzenia rozkładu współczynnika załamania ∇n wewnątrz materiału AGRIN według mechanizmów wcześniej opisanych.

Wynalazek w przykładowym wykonaniu został przedstawiony na Fig. 5 i 6, gdzie Fig. 5 przedstawia rozwiązanie z użyciem jednej wiązki lasera 8 doprowadzanej do układu za pomocą światłowodu 20 i kolimatora światłowodowego 17. Kolimator światłowodowy 17 zamocowany jest w uchwycie przesuwalnym 18, działającym w dwóch kierunkach, prostopadłych do kierunku biegu wiązki 8 lasera opuszczającej kolimator światłowodowy 17. Na Fig. 5 zilustrowano możliwość przesuwania kolimatora 17 jedynie w jednym kierunku, równoległym do osi optycznej układu 14, a przesuw może się odbywać za pomocą np.

ręcznej śruby mikrometrycznej 21 lub zmotoryzowanej śruby sterowanej elektronicznie. Kolimator światłowodowy 17 jest przymocowany do uchwyty przesuwne 18 za pomocą zacisku 19. Światło wiązki lasera 8 emitowane przez kolimator światłowodowy 18 jest kierowane w stronę elementu optycznego 9 przepuszczającego wiązkę światła obrazowanego 7, a odbijającego wiązkę lasera 8, np. lustro dichroiczne. Następnie wiązka lasera pada na płytkę AGRIN 5. Za płytkę AGRIN 5 pozostałe światło wiązki lasera 8 jest pochłaniane przez filtr 12. Element optyczny 9, płytkę AGRIN 5 oraz filtr 12 są zamocowane w obudowie 22 układu optycznego. Obudowa 22, 22' i 22'' układów optycznych zilustrowanych na Fig. 5 i 6 może stanowić integralną część obudowy większego układu optycznego takiego jak zobrazowany na Fig. 2, lub obudowa układów optycznych zilustrowanych na Fig. 5 i 6 może być zakończona elementami pozwalającymi na łączenie tych układów z innymi układami optycznymi np. za pomocą gwintu 15 i 16. Przykładowo w układzie zilustrowanym na Fig. 2 gwint 15 służy łączeniu układów optycznych zilustrowanych na Fig. 5 i 6 z elementem optycznym 2, a gwint 16 służy łączeniu układów optycznych zilustrowanych na Fig. 5 i 6 z elementem optycznym 3. Fig. 6 przedstawia rozwiązanie z użyciem dwóch wiązek laserowych, mogących tworzyć w płytce AGRIN 5 dwie niezależne soczewki AGRIN 6' i AGRIN 6''. Na Fig. 6 przedstawiono rozwiązanie wykorzystujące małe lasery 23 i 23'', np. diodowe, jako źródła dwóch wiązek lasera 8 i 8''. W celach ilustracyjnych są one przedstawione, jako przesunięte względem środków uchwytów przesuwnych 18 i 18'', w których lasery 23 i 23'' są zamocowane. Przesunięcie laserów 23 i 23'' odbywa się za pomocą śrub 21 i 21''. Wiązki emitowane przez lasery 23 i 23'' są kierowane na element optyczny 24, który przepuszcza wiązkę lasera padającą na niego w kierunku prostopadłym do osi optycznej układu 14, a odbija pod kątem prostym wiązkę lasera padającą na niego w kierunku równoległym do osi optycznej układu 14. Rolę takiego elementu może odgrywać kostka światłodziela polaryzująca. Zakładając, że światło wiązek obu laserów jest spolaryzowane we właściwy sposób, kostka taka może z wydajnością bliską 100% kierować obie wiązki laserów 23 i 23'' w kierunku elementu optycznego 9. Pozostałe elementy układu zilustrowanego na Fig. 6 odgrywają taką samą rolę jak ich odpowiedniki z Fig. 5. Różni je obecność wyróżnionej na Fig. 6 części obudowy 22'. W przypadku, gdy element 24 kieruje część światła wiązek laserów 23 i 23'' w kierunku elementu obudowy 22', co ma miejsce np. gdy jego rolę odgrywa zwykła kostka światłodziela, wówczas element obudowy 22' powinien je pochłaniać, a powstałe w ten sposób ciepło powinien oddać do otoczenia np. za pomocą radiatora. Fig. 7 przedstawia trzy zdjęcia pochodzące z przygotowywanej publikacji obrazujące efekt końcowy działania lokalnej soczewki indukowanej światłem lasera. Po lewej stronie widać obraz podziałki mikroskopowej o długości działki elementarnej równej 50 μm , a pod nią próbki przekroju łodygi dyni – ostrość obiektywu mikroskopu ustawiona na podziałce. Po prawej stronie widać ten sam obraz jednak z ostrością ustawioną na przekrój łodygi dyni. W środku widać obraz tej samej pary próbek z aktywną soczewką indukowaną w obszarze zaznaczonym kółkiem. Obecność soczewki indukowanej powoduje ostrzenie obrazu przekroju łodygi dyni w obszarze poddanym działaniu soczewki indukowanej, a w pozostałym obszarze ostry jest obraz podziałki.