



Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu nr ———

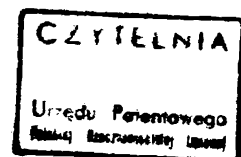
Int. Cl.⁴ H01J 37/04

Zgłoszono: 85 05 06 (P. 253265)

Pierwszeństwo ———

Zgłoszenie ogłoszono: 86 03 11

Opis patentowy opublikowano: 88 02 29



Twórca wynalazku: Witold Słótko

Uprawniony z patentu tymczasowego: Politechnika Wrocławska,
Wrocław (Polska)

Zespół elektronooptyczny

Przedmiotem wynalazku jest zespół elektronooptyczny przeznaczony do wytwarzania skupionej wiązki elektronowej w urządzeniach elektronowiązkowych, a szczególnie w elektronowym mikroskopie rastrowym.

Z monografii: P. W. Hawkes, Elektron optics and electron microscopy, Taylor Francis Ltd, 1972, znane są zespoły elektronooptyczne przeznaczone do wytwarzania skupionej wiązki elektronowej w elektronowym mikroskopie rastrowym. Są to zwykle układy złożone z wyrzutni elektronowej, soczewek elektronowych i układów dodatkowych jak np. układy odchyłające, centrujące, korekcyjne itp. Skupianie wiązki elektronowej na płaszczyźnie roboczej polega na odwzorowaniu na tej płaszczyźnie źrenicy wyjściowej wyrzutni elektronowej za pomocą soczewek elektronowych. Średnica źrenicy wyjściowej stosowanych zazwyczaj wyrzutni termoemisyjnych jest rzędu $10\ \mu\text{m}$, podczas gdy, ze względu na wymaganą zdolność rozdzielczą mikroskopu, średnica wiązki elektronowej w płaszczyźnie roboczej powinna być mniejsza od $10\ \text{nm}$. Oznacza to, że soczewki elektronowe zastosowane w układzie powinny zapewnić odwzorowanie źrenicy wyjściowej wyrzutni z powiększeniem rzędu 10^{-4} . Uzyskuje się to zwykle przez zastosowanie trzech soczewek elektronowych. Pierwsza z nich licząc od płaszczyzny roboczej, nosząca nazwę soczewki obiektywowej, skupia wiązkę elektronową na tej płaszczyźnie i z tego względu jest soczewką o dość długiej ogniskowej umożliwiającą uzyskanie powiększenia rzędu 0,1. Dwie pozostałe soczewki, noszące nazwę soczewek kondensatorowych, muszą zatem zapewnić łączne powiększenie rzędu 10^{-3} lub też mniejsze.

Soczewki elektronowe stosowane w znanym zespole elektronooptycznym elektronowego mikroskopu rastrowego są z reguły magnetycznymi soczewkami osłoniętymi, z osłoną wykonaną z miękkiego materiału magnetycznego. Każda z tych soczewek składa się z zewnętrznej osłony magnetycznej w kształcie toroidu i wewnętrznej osłony magnetycznej w kształcie tulei, połączonych ze sobą w sposób trwały lub rozbieralnie. We wnętrzu toroidu jest umieszczona cewka magnetyczna, nawinięta na odpowiednim karkasie. W płaszczyźnie poprzecznej do osi otworu, w tulei stanowiącej wewnętrzną osłonę magnetyczną jest wykonana szczelina, a wzdłuż osi tego otworu jest wprowadzana wiązka elektronowa. Pole magnetyczne wytworzone na skutek przepływu prądu elektrycznego przez uzwojenie cewki magnetycznej jest skoncentrowane w tej części otworu w

wewnętrznej osłonie magnetycznej, w której zlokalizowana jest szczelina i oddziałuje na wiązkę elektronową jak soczewka. Szczelina dzieli wewnętrzną osłonę magnetyczną na dwa segmenty zwane nabiegunnikami. Błędy obrazu wytwarzanego przez soczewkę zależą od jednorodności materiału nabiegunników, symetrii ich kształtu i wzajemnego rozmieszczenia.

W celu zmniejszania błędów obrazu soczewkę magnetyczną wyposaża się w wymienny zespół nabiegunników połączonych ze sobą w jedną całość za pośrednictwem przekładki diamagnetycznej lub paramagnetycznej. Taki zespół wymiennych nabiegunników może być wykonany bardziej precyzyjnie i z lepszych materiałów, niż pozostałe elementy osłony magnetycznej.

Dla uproszczenia konstrukcji mikroskopu soczewki kondensorowe często są połączone ze sobą w sposób trwały. Uzwojenia cewek magnetycznych tych soczewek łączy się również szeregowo, by umożliwić ich zasilanie z jednego źródła prądu. Taki zespół soczewek jest nazywany podwójnym kondensatorem lub kondensatorem dwusoczewkowym.

Niedogodnością techniczną znanych rozwiązań zespołów elektronooptycznych jest duża liczba soczewek elektronowych wchodzących w jego skład. Powoduje to, że zespół elektronooptyczny ma duże rozmiary i dużą masę co z kolei obniża jego stabilność mechaniczną i niekorzystnie wpływa na zdolność rozdzielczą mikroskopu. Komplikuje to również obsługę zespołu elektronooptycznego, jak na przykład okresowe czyszczenie elementów wewnętrznych, zwiększa koszt jego wykonania jak i koszt wykonania niezbędnych zasilaczy soczewek o dużej stabilności.

Wynalazek dotyczy zespołu elektronooptycznego, składającego się z wyrzutni elektronowej i układów dodatkowych oraz co najmniej jednej soczewki magnetycznej. Soczewka ma postać cewki magnetycznej osłoniętej przez wykonane z materiału ferromagnetycznego: zewnętrzną magnetyczną osłonę w kształcie toroidu i wewnętrzną magnetyczną osłonę w kształcie tulei z otworem wzdłuż osi symetrii.

Istota zespołu elektronooptycznego według wynalazku polega na tym, że przynajmniej w jednej magnetycznej soczewce wewnętrzna magnetyczna osłona jest przecięta w kierunku poprzecznym do osi symetrii przez co najmniej dwie szczeliny, korzystnie wypełnione przekładkami z materiału nieferromagnetycznego. Odległości między sąsiednimi szczelinami są co najmniej kilkakrotnie większe od szerokości tych szczelin i od mierzonych na granicy tych szczelin średnic otworu, wykonanego wzdłuż osi symetrii wewnętrznej magnetycznej osłony.

Korzyścią techniczną wynikającą ze stosowania zespołu elektronooptycznego według wynalazku jest możliwość zmniejszenia liczby soczewek elektronowych przy zachowaniu wymaganego powiększenia. Dzięki temu zmniejsza się masa i rozmiary zespołu elektronooptycznego, a wzrasta stabilność mechaniczna jak i upraszcza się jego obsługa. Niższy jest również koszt wykonania zespołu elektronooptycznego jak i zasilaczy soczewek.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia zespół elektronooptyczny w przekroju poprzecznym.

Zespół elektronooptyczny składa się z elektronowej wyrzutni 1, magnetycznej soczewki 2, pełniącej funkcję soczewki kondensorowej, magnetycznej soczewki 3, pełniącej funkcję soczewki obiektywowej oraz dodatkowych układów 4, takich jak: układy odchylające, centrujące czy też korekcyjne. Magnetyczna soczewka 2, wykonana jest w postaci cewki magnetycznej 5, osłoniętej przez wykonane z materiału ferromagnetycznego: zewnętrzną magnetyczną osłonę 6 w kształcie toroidu i wewnętrzną magnetyczną osłonę 7 mającą postać tulei o symetrii obrotowej z otworem 8 wykonanym wzdłuż osi tej osłony 7. Wewnętrzna magnetyczna osłona 7, połączona w sposób rozbieralny z zewnętrzną magnetyczną osłoną 6, jest przecięta przez dwie poprzeczne do osi symetrii szczeliny 9, na segmenty, stanowiące nabiegunniki. Nabiegunniki są połączone w jeden wymienny zespół miedzianymi przekładkami przylutowanymi w szczelinach 9. Magnetyczna cewka 5 jest wykonana w postaci uzwojenia z miedzianego drutu, nawiniętego na karkasie 10. Karkas 10 stanowi jednocześnie element osłony próżniowej w soczewce i za pośrednictwem uszczeltek 11 jest połączony próżnioszczelnie z zewnętrzną osłoną 6. Korzystnie jest, jeśli część karkasu 10 stanowi korekcyjny pierścień 12 umieszczony w połowie wysokości środkowego nabiegunnika i wykonany z materiału ferromagnetycznego. Pozostałe elementy karkasu 10 powinny być wykonane z materiału diamagnetycznego lub paramagnetycznego — na przykład z mosiądzu. Magnetyczna soczewka 3 jest zbudowana zgodnie ze znanymi zasadami i jest wyposażona tylko w jedną szczelinę 13.

Tak zbudowany zespół elektronooptyczny działa następująco. Wiązka elektronowa wyemitowana i przyspieszona w elektronowej wyrzutni 1 zostaje skierowana do magnetycznej soczewki 2 i biegnie wzdłuż osi otworu 8.

Przepływ prądu elektrycznego przez uzwojenie magnetycznej cewki 5 powoduje powstanie pola magnetycznego. Strumień magnetyczny zamyka się w obwodzie utworzonym przez zewnętrzną osłonę 6 i wewnętrzną osłonę 7. W rejonie szczelin 9 pole magnetyczne ulega rozproszeniu i wnika do wnętrza otworu 8. Powstają tu zatem obszary niejednorodnego pola magnetycznego o symetrii obrotowej, każdy obszar oddziałuje na wiązkę elektronową jak soczewka. Rozkład pola magnetycznego na osi każdej szczeliny 9 oraz odległości ogniskowe, powstałych tu soczewek zależą między innymi od szerokości 8 szczelin 9 i średnicy d otworu 8. Jeśli stosunek szerokości szczelin s do średnicy otworu d równa się jedności, to minimalną odległość ogniskową f każdej soczewki, powstałej w rejonie szczelin 9 można obliczyć ze znanych z literatury wzorów, po zaadaptowaniu ich do przypadku soczewki wieloszczelinowej

$$f \approx 0,5 [s^2 + 0,45 d^2]^{1/2} \approx 0,6 s,$$

przy natężeniu prądu I , płynącego przez uzwojenie magnetycznej cewki 5, wynoszącym:

$$I \approx \frac{13 k}{n} \sqrt{U}$$

gdzie

k — liczba szczelin,

n — liczba zwojów uzwojenia cewki,

U — napięcie przyspieszające wiązkę elektronową

W tym przypadku minimalne powiększenie M magnetycznej soczewki 2 wyniesie:

$$M \approx \frac{f^k}{a \cdot l^{k-1}} \approx \frac{(0,6 s)^k}{a \cdot l^{k-1}}$$

jeśli $a f s \approx d$, $l f s \approx d$,

gdzie a — odległość żrenicy wyjściowej elektronowej wyrzutni 1 od pierwszej szczeliny 9, l — odległość między szczelinami 9.

W przykładowej magnetycznej soczewce 2 z dwiema szczelinami 9 przy zachowaniu odległości a i l wielokrotnie większych od szerokości s szczelin można uzyskać powiększenie rzędu 10^{-3} lub mniejsze, a więc takie, jakie uzyskuje się przy zastosowaniu dwusoczewkowego kondensora.

Strumień magnetyczny płynący wzdłuż wewnętrznej osłony 7 ma tendencję do rozpraszania się w kierunku osi otworu 8 także na odcinku pomiędzy szczelinami 9, co mogłoby doprowadzić do powstania dodatkowej, niekontrolowanej soczewki. Aby temu zapobiec karkas 10 ma wlutowany, ferromagnetyczny korekcyjny pierścień 12, który zwiększa efektywną średnicę wewnętrznej osłony 7 na danym odcinku. Karkas 10 stanowi jednocześnie element osłony próżniowej, dzięki czemu ma małą średnicę wewnętrzną. Pozwala to na zmniejszenie średniej długości zwoju i mocy prądu zasilającego magnetyczną cewkę 5 o około 30% w stosunku do klasycznego kondensatora dwusoczewkowego z wymiennymi nabiegunnikami.

Kolejna magnetyczna soczewka 3, przez którą przebiega wiązka elektronowa na swej drodze do płaszczyzny roboczej, stanowi rozwiązanie klasyczne z jedną szczeliną 13. Jej powiększenie wynosi około 0,1 w związku z czym powiększenie końcowe jako iloczyn powiększeń obu magnetycznych soczewek 2 i 3, może być mniejsze od 10^{-4} . Tego rzędu powiększenie możnaby uzyskać w zespole elektronooptycznym według wynalazku stosując tylko jedną magnetyczną soczewkę 2 z trzema szczelinami 9. W tym przypadku nie można jednak uzyskać niezależnej regulacji powiększenia i położenia płaszczyzny zogniskowania wiązki elektronowej. Średnice d otworu 8 w rejonie szczelin 9, ich szerokość s oraz odległości l między szczelinami nie muszą być jednakowe.

Zastrzeżenie patentowe.

Zespół elektronooptyczny, składający się z wyrzutni elektronowej i układów dodatkowych oraz co najmniej jednej soczewki magnetycznej w postaci cewki magnetycznej osłoniętej przez wykonane z materiału ferromagnetycznego: zewnętrzną magnetyczną osłonę w kształcie toroidu i wewnętrzną magnetyczną osłonę w kształcie tulei z otworem wzdłuż osi symetrii, **znamienny tym**, że przynajmniej w jednej magnetycznej soczewce (2) wewnętrzna magnetyczna osłona (7) jest przecięta w kierunku poprzecznym do osi symetrii przez co najmniej dwie szczeliny (9), korzystnie wypełnione przekładkami z materiału nieferromagnetycznego, a odległości (1) między sąsiednimi szczelinami (9) są co najmniej kilkakrotnie większe od szerokości (s) tych szczelin (9) i od mierzonych na granicy tych szczelin (9) średnic (d) otworu (8), wykonanego wzdłuż osi symetrii wewnętrznej magnetycznej osłony (7).

