



УКРАЇНА

(19) UA (11) 49111 (13) C2
(51) G 21K 1/02, 1/06, 5/04, A61N 5/10МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ІНТЕГРАЛЬНА ЛІНЗА ДЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЯКЕ ЯВЛЯЄ СОБОЮ ПОТІК НЕЙТРАЛЬНИХ ЧИ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК, СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ТАКИХ ЛІНЗ, АНАЛІТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ, ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОЕКЦІЙНОЇ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ЛІТОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЛІНЗИ.

1

(21) 2001063797
(22) 30 05 2000
(24) 16 09 2002
(86) PCT/RU00/00206, 30 05 2000
(31) 99121677
(32) 18 10 1999
(33) RU
(46) 16 09 2002, Бюл. № 9, 2002 р.
(72) Кумахов Мурадін Абубекірович, RU
(73) Кумахов Мурадін Абубекірович, RU
(56) патент US 5745547, МПК G 21 K 1/02, G 02 B 5/00, публ. 28 04 1998 патент US 5001737, МПК G 21 K 1/02, 1/06, 5/04, A 61 N 5/10, публ. 19 03 1991 патент US 5276724 МПК G 21 K 1/02, 1/06, 5/04, A 61 N 5/10, публ. 04 01 1994
(57) 1 Інтегральна лінза для перетворення випромінювання, яке являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, яка містить канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення випромінювання використовуваного джерела, яка відрізняється тим, що вона виконана у вигляді сукупності сублінз (18, 19) різного ступеня інтеграції, при цьому сублінза (18) найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів (5) транспортування випромінювання, що є результатом сукупного витягування і формування пучка капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх капілярів, сублінза (19) кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз (18) попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення

2

сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані і утворюють вхідний і вихідний торці лінзи.

2 Лінза за п. 1, яка відрізняється тим, що стінки каналів транспортування випромінювання мають з внутрішнього боку покриття з одного чи кількох шарів, виконаних з одного й того ж чи різних хімічних елементів.

3 Лінза (14) за п. 1 або 2, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю перетворення розбіжного випромінювання в квазіпаралельне або навпаки, для чого одні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані в фокусну точку, а інші паралельні один одному.

4 Лінза (17) за п. 1 або 2, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю зміни поперечного розміру пучка на виході у порівнянні зі вхідним, для чого вона має форму тіла обертання з твірною, що має перегин, і паралельними поздовжній осі кінцями каналів, причому діаметри лінзи з боку входу і виходу різні.

5 Лінза (1) за п. 1 або 2, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю фокусування розбіжного випромінювання, для чого вхідні і вихідні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані відповідно в першу і другу фокусні точки (1, 2).

6 Лінза за п. 5, яка відрізняється тим, що співвідношення поперечного розміру і радіуса кривини, принаймні, периферійних по відношенню до оптичної осі каналів транспортування випромінювання вибрано з умови лише часткового заповнення випромінюванням поперечного перерізу їх вихідних кінців.

7 Лінза за п. 5, яка відрізняється тим, що її частина (12), що прилягає до оптичної осі (4), виконана непрозорою для вказаного випромінювання.

8 Лінза за п. 5, яка відрізняється тим, що вона виконана з різними з боку входу і виходу радіусами кривизни каналів транспортування випромінювання.

9 Лінза за п. 5, яка відрізняється тим, що канали однієї чи кількох сублінз, розташованих поблизу поздовжньої осі лінзи, виконані з можливістю транспортування випромінювання в них при

C2
(13)
49111
(11)
UA
(19)

одноразовому повному зовнішньому відбиванні або без нього

10 Лінза за п 1 або 2, яка відрізняється тим, що усі сублінзи (19) найвищого ступеня інтеграції поміщені в загальну оболонку (20), яка є зовнішньою оболонкою лінзи

11 Лінза (1) за п 10, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю фокусування розбіжного випромінювання, для чого вхідні і вихідні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані відповідно в першу і другу фокусні точки (1, 2)

12 Лінза за п 10, яка відрізняється тим, що співвідношення поперечного розміру і радіуса кривизни, принаймні, периферійних по відношенню до оптичної осі каналів транспортування випромінювання вибрано з умови лише часткового заповнення випромінюванням поперечного перерізу їх вихідних кінців

13 Лінза (14) за п 10, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю перетворення розбіжного випромінювання в квазіпаралельне або навпаки, для чого одні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані в фокусну точку, а інші паралельні один одному

14 Лінза (17) за п 10, яка відрізняється тим, що вона виконана з можливістю зміни поперечного розміру пучка на виході у порівнянні зі вхідним, для чого вона має форму тіла обертання з твірною, що має перегин, і паралельними поздовжній осі кінцями каналів, причому діаметри лінзи з боку входу і виходу різні

15 Лінза за будь-яким з пп 1, 2, 8-9, 11-14, яка відрізняється тим, що сублінзи виконані з оболонками з того ж матеріалу, що й стінки каналів транспортування випромінювання, чи близького до нього за коефіцієнтом температурного розширення

16 Лінза за будь-яким з пп 1, 2, 8-9, 11-14, яка відрізняється тим, що стінки каналів транспортування випромінювання, зовнішня оболонка лінзи й оболонки сублінз виконані зі скла, кераміки чи металу

17 Спосіб виготовлення лінз, які містять канали транспортування випромінювання з використанням у них повного зовнішнього відбивання для перетворення випромінювання, яке являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, який включає в себе дві або більше стадій одержання заготовок, на кожній з яких заповнюють трубчасту оболонку (21) раніше виготовленими заготовками, в ролі яких на першій стадії використовують капіляри, а на кожній з наступних стадій - заготовки, одержані в результаті здійснення попередньої стадії, який відрізняється тим, що здійснюють витягування трубчастої оболонки разом із заготовками, що її заповнюють, в печі (22), підтримуючи швидкість подачі в піч нижчою за швидкість виходу виробу з печі при постійному співвідношенні між цими швидкостями, після чого отримують заготовки, що є результатом цієї стадії, шляхом розрізання виробу, що виходить з печі, по довжині, після закінчення останньої стадії заповнюють заготовками, одержаними на цій стадії, трубчасту оболонку, яку разом із заготовками, що її заповнюють,

витягають в печі, підтримуючи швидкість подачі в піч нижчою за швидкість виходу виробу з печі і періодично змінюючи співвідношення між вказаними швидкостями для утворення на виробі, що виходить з печі, стовщень (28), потім з цього виробу шляхом розрізання його по довжині отримують лінзи у вигляді ділянок виробу, що містять лише одне стовщення, причому на всіх етапах здійснення способу використовують трубчасті оболонки, виконані з того ж матеріалу, що й капіляри, або ж близького до нього за коефіцієнтом температурного розширення, а процеси витягування трубчастих оболонок із заготовками, що їх заповнюють, проводять під тиском газового середовища в просторі між ними меншим за тиск в каналах заготовок і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх заготовок

18 Спосіб за п 17, який відрізняється тим, що кожну зі стадій одержання заготовок завершують витравлюванням оболонок заготовок

19 Спосіб за п 17 або 18, який відрізняється тим, що для одержання бажаної форми поздовжнього перерізу лінз регулюють швидкість витягування в процесі формування стовщення

20 Спосіб за п 17 або 18, який відрізняється тим, що для одержання повних лінз (30) розрізання витягнутого з печі виробу здійснюють по обидва боки від максимального поперечного перерізу стовщення на відстані від нього, меншому за відстань до точки перегину твірної

21 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що для одержання повних лінз (30) розрізання витягнутого з печі виробу здійснюють по обидва боки від максимального поперечного перерізу стовщення на відстані від нього, меншому за відстань до точки перегину твірної

22 Спосіб за п 17 або 18, який відрізняється тим, що для одержання півлінз (31) розрізання витягнутого з печі виробу здійснюють по обидва боки від максимального поперечного перерізу стовщення на відстані від нього, меншому за відстань до точки перегину твірної

23 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що для одержання півлінз (31) розрізання витягнутого з печі виробу здійснюють по обидва боки від максимального поперечного перерізу стовщення на відстані від нього, меншому за відстань до точки перегину твірної

24 Спосіб за п 17 або 18, який відрізняється тим, що для одержання лінз (32) у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, і кінцями каналів, паралельними поздовжній осі лінзи, розрізання виробу, що виходить з печі, здійснюють в перерізах, що відповідають максимуму стовщення, і по обидва боки від нього в перерізах, розташованих по інший бік від точок перегину твірної на відрізках виробу, де діаметр його постійний

25 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що для одержання лінз (32) у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, і кінцями каналів, паралельними поздовжній осі лінзи, розрізання виробу, що виходить з печі, здійснюють в перерізах, що відповідають максимуму стовщення, і по обидва боки від нього в перерізах, розташованих по інший бік від точок перегину твірної на відрізках

виробу, де діаметр його постійний

26 Аналітичний пристрій, що містить джерело (2) випромінювання, яке являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, засіб позиціонування досліджуваного об'єкта, розташований з можливістю дії на останній випромінювання вказаного джерела, один чи кілька детекторів (35) випромінювання, розташованих з можливістю дії на них випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт (33) або збудженого в ньому, одну чи декілька лінз (1, 1') для перетворення випромінювання вказаного джерела або збудженого в досліджуваному об'єкті випромінювання, розташованих на шляху випромінювання від вказаного джерела до досліджуваного об'єкта і (або) на шляху від останнього до одного чи кількох з вказаних детекторів випромінювання, таких, що містять канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення транспортованого випромінювання, який **відрізняється** тим, що, принаймні, одна з вказаних лінз виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції, при цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах каплярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх каплярів, сублінза вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані і утворюють вхідний і вихідний торці лінзи

27 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що він виконаний з можливістю сканування по поверхні чи об'єму досліджуваного об'єкта суміщених фокусів (34) лінз, розташованих на шляху випромінювання від вказаного джерела до досліджуваного об'єкта і від останнього - до детектора

28 Аналітичний пристрій за п. 27, який **відрізняється** тим, що лінза (14), розташована на шляху випромінювання від досліджуваного об'єкта до детектора (35), виконана з можливістю формування квазіпаралельного пучка, між нею і детектором встановлені кристал-монокроматор (36) або багатолучова дифракційна структура з можливістю варіювання їх положення і кута падіння на них вказаного квазіпаралельного пучка для забезпечення виконання умови Бреґґа для різних довжин хвиль випромінювання, збудженого в досліджуваному об'єкті

29 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що в ролі згаданого джерела використано синхротронне чи інше джерело, що дає паралельний пучок (17), а лінза (14'), розташована на шляху випромінювання цього джерела до досліджуваного об'єкта, виконана з можливістю фокусування такого пучка

30 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що в ролі джерела використовується мікрофокусне рентгенівське джерело з простірливим анодом

31 Аналітичний пристрій п. 26, який **відрізняється** тим, що вказане джерело являє собою джерело (2) широкопелювального рентгенівського випромінювання, транспортованого одночасно двома лінзами (14, 14'), виконаними з можливістю формування квазіпаралельного пучка, між виходом кожної з цих лінз і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта розташовано по одному кристал-монокроматору (36, 36'), при цьому один з них встановлено з можливістю виділення випромінювання, що має довжину хвилі нижче, а інший - вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється у досліджуваному об'єкті, в пристрої є два детектори (35, 35'), кожен з яких розташовано після засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта таким чином, щоб приймати випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт (33) і сформоване одним з кристалів-монокроматорів

32 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що поряд зі вказаним джерелом (2) він містить ще одне джерело (2'), обидва джерела є джерелами рентгенівського випромінювання, при цьому випромінювання одного джерела має довжину хвилі нижче, а іншого - вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється у досліджуваному об'єкті (33), між кожним із джерел і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта встановлено по одній лінзі (14, 14'), виконані з можливістю формування квазіпаралельного пучка, в пристрої є два детектори (35, 35'), кожен з яких розташовано після засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта таким чином, щоб приймати випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт (33) і сформоване однією з лінз

33 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що вказане джерело (2) являє собою рентгенівське джерело з анодом, що забезпечує одержання випромінювання з двома характеристичними довжинами хвиль - нижче і вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється у досліджуваному об'єкті, між цим джерелом і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта розташована одна лінза (14), виконана з можливістю формування квазіпаралельного пучка, перед цією лінзою чи після неї встановлено обертовий екран (37) з по черговими вікнами, закритими фільтрами, прозорими для однієї і непрозорими для іншої з вказаних довжин хвиль

34 Аналітичний пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що на шляху випромінювання від вказаного джерела (2) до досліджуваного об'єкта (33) встановлено лінзу (1) і вторинну мішень (38), при цьому лінзу виконано з можливістю фокусування випромінювання джерела на вторинній мі-

шені

35 Аналітичний пристрій за п 34, який **відрізняється** тим, що між вторинною мішенню і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта встановлено другу лінзу, виконану з можливістю формування квазіпаралельного випромінювання

36 Аналітичний пристрій за п 34 або 35, який **відрізняється** тим, що вторинна мішень виконана з берилію чи іншого легкого металу

37 Аналітичний пристрій за п 26, який **відрізняється** тим, що на шляху випромінювання від вказаного джерела (2) до досліджуваного об'єкта (33) розташовані встановлені послідовно лінза (14) і кристал-монохроматор (36) або багат шарова дифракційна структура, при цьому лінза виконана і орієнтована з можливістю формування квазіпаралельного пучка, що падає під кутом 45° на кристал-монохроматор (36) або багат шарову дифракційну структуру для формування ними поляризованого випромінювання, а детектор (35) розташовується під кутом 90° до напрямку розповсюдження вказаного поляризованого випромінювання

38 Аналітичний пристрій за п 26, який **відрізняється** тим, що на шляху випромінювання від вказаного джерела (2) до досліджуваного об'єкта (33) розташовані встановлені послідовно лінза і кристал-монохроматор (36), при цьому лінза виконана і орієнтована з можливістю формування квазіпаралельного пучка, що падає на кристал-монохроматор (36) під кутом Бреґґа, а на шляху випромінювання від досліджуваного об'єкта (33) до детектора (35) встановлено ідентичний вказаному кристал (36') паралельно йому або з незначним відхиленням від паралельності для забезпечення можливості фіксації детектором фазового контрасту областей досліджуваного об'єкта, що мають різну густину і викликають неоднакову рефракцію випромінювання, що на них падає

39 Аналітичний пристрій за п 26, який **відрізняється** тим, що в ролі вказаного джерела (2) використано джерело рентгенівського випромінювання, а засіб для позиціонування досліджуваного об'єкта виконано з можливістю проведення досліджень частин чи органів людського тіла (39)

40 Аналітичний пристрій за п 39, який **відрізняється** тим, що джерело рентгенівського випромінювання має молибденовий анод, а засіб для позиціонування досліджуваного об'єкта виконано з можливістю проведення маммографічних досліджень

41 Аналітичний пристрій за п 40, який **відрізняється** тим, що вказана лінза (14), розташована на шляху випромінювання від джерела (2) рентгенівського випромінювання з молибденовим анодом до досліджуваного об'єкта (39), виконана з можливістю формування квазіпаралельного пучка з поперечним перерізом, достатнім для одночасної дії на всю досліджувану область, а розташування детектора (35) вибрано з умови забезпечення відстані між ним і досліджуваним об'єктом не менше 30см

42 Аналітичний пристрій за п 39, який **відрізняється** тим, що він виконаний з можливістю обертального руху відносно одне одного, з одного

боку, засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта, і, з іншого боку, джерела (2) випромінювання, лінзи (11), встановленої між ним і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта, і детектора (35), вихід якого підключено до комп'ютерних засобів обробки результатів детектування, при цьому лінзу виконано з можливістю фокусування випромінювання, створюваного джерелом (2), всередині досліджуваного об'єкта (39)

43 Пристрій для променевої терапії, що містить одне чи кілька джерел випромінювання (2), яке являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, і засіб для позиціонування тіла пацієнта або його частини (39), що підлягає опроміненню, який **відрізняється** тим, що між кожним з вказаних джерел і вказаним засобом для позиціонування встановлено лінзу (1) для фокусування випромінювання на пухлині пацієнта, що містить канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення транспортованого випромінювання, виконану у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції, при цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом сукупного витягування і формування пучка капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх капілярів, сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпозовані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані й утворюють вхідний і вихідний торці лінзи

44 Пристрій для променевої терапії за п 43, який **відрізняється** тим, що в ролі вказаних джерел використані виходи атомного реактора чи прискорювача, що формують квазіпаралельні пучки (16) теплових чи надтеплових нейтронів

45 Пристрій для променевої терапії за п 44, який **відрізняється** тим, що вказані лінзи виконані з можливістю повороту нейтронних пучків

46 Пристрій для контактної рентгенівської літографії, що містить джерело (2) м'якого рентгенівського випромінювання, лінзу (14) для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела в квазіпаралельне, яка містить канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, і засоби для розміщення маски (42) і підкладки (43) з нанесеним на ній резистом, який **відрізняється** тим, що вказана лінза виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції, при

цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою поміщену в загальну оболонку сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах каплярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх каплярів, сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані й утворюють вхідний і вихідний торці лінзи

47 Пристрій для проекційної рентгенівської літографії, який містить джерело (2) м'якого рентгенівського випромінювання, лінзу (14) для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела в квазіпаралельне, призначене для опромінення маски (42), засіб для розміщення маски, лінзу (16) для передачі рентгенівського зображення маски зі зменшенням його розміру на резист, засіб для розміщення підкладки (43) з

нанесеним на ній резистом, при цьому обидві вказані лінзи містять канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, який відрізняється тим, що, принаймні, одна з вказаних лінз виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції, при цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах каплярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх каплярів, сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск в каналах сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані й утворюють вхідний і вихідний торці лінзи, при цьому вхідні діаметри каналів транспортування випромінювання другої з вказаних лінз перевищують їх вихідні діаметри

Пропоновані винаходи відносяться до засобів для дефектоскопії і діагностики в техніці й медицині, що використовують випромінювання у вигляді потоку нейтральних або заряджених частинок, зокрема рентгенівське випромінювання, а також до засобів, у яких вказане випромінювання використовується з лікувальною метою або для контактної чи проекційної літографії в мікроелектроніці. Спільним для всіх названих засобів є наявність у їх складі однієї чи кількох лінз для наявності у їх складі однієї чи кількох лінз для здійснення потрібного перетворення вказаного випромінювання. Конструкція такої лінзи і спосіб виготовлення таких лінз також є предметом пропонованої групи винаходів

Попередній рівень техніки

Застосування різних типів випромінювань рентгенівського і гама-випромінювання, нейтральних і заряджених частинок в різних галузях, таких як приладобудування, медицина, мікроелектроніка та ін за останні 20-30 років суттєво розширилося. Створюються все потужніші джерела рентгенівського випромінювання й потужні безпечні джерела нейтронів. Ці джерела розв'язують важливі фундаментальні й прикладні задачі, що постають перед наукою й індустрією

На жаль, вказані джерела є дуже дорогими. Для того, щоб побудувати такі джерела, як Євро-

пейський центр синхротронного випромінювання (Гренобль, Франція), потрібні спільні зусилля кількох держав

Тому дуже важливим є створення оптичних пристроїв, здатних суттєво збільшити ефективну яскравість дешевих і доступних джерел, що дозволило б обійтися без використання унікальних джерел, подібних вищезазначеному

В кінці 80-х - на початку 90-х років 20-го століття були створені лінзи для керування рентгенівським та іншими випромінюваннями високих енергій

Перші лінзи для керування випромінюванням (фокусування розбіжного випромінювання, формування паралельного потоку з розбіжного випромінювання, фокусування паралельного випромінювання чи іншого перетворення), являли собою сукупність каналів транспортування випромінювання, у яких випромінювання зазнає багаторазового повного зовнішнього відбивання. Такі лінзи виготовлялися у вигляді великої кількості каплярів чи полікаплярів, що проходять крізь отвори чи комірки підтримувальних структур, встановлених на певній відстані по довжині лінзи (див. В. А. Аркадьєв, А. И. Коломийцев, М. А. Кумахов і др. Широкополосная рентгеновская оптика с большой угловой апертурой. Успехи физических наук, 1989, том 157, выпуск 3, с. 529-537 1], патент США №5192869 (опубл. 09.03.93) [2]). Лінза в цілому

має форму бочки (тобто звужується до обох торців), якщо вона призначена для фокусування розбіжного випромінювання, або півбочки (тобто звужується лише до одного з торців), якщо вона призначена для перетворення розбіжного випромінювання в квазіпаралельне або для фокусування такого випромінювання. В подальшому для позначення лінз двох названих типів, в тому числі й таких, що мають відмінне від описаного конструктивне виконання, закріпилися відповідно терміни "повна лінза" й "півлінза".

Можливі й інші форми лінз, що відрізняються від "класичних" бочки чи півбочки, наприклад, лінза "пляшкоподібної" форми, виготовлена у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, коли на одному чи обох кінцях канали є паралельними. Такі лінзи можуть бути використані як фільтри випромінювання (для відсікання висоенергетичної частини спектру джерела), для перетворення розміру перерізу вхідного пучка та ін.

Описані вище лінзи, котрі відносять до лінз першого покоління, збираються вручну і досить громіздкі. Вони дозволяють фокусувати рентгеновське випромінювання з енергією квантів аж до 10 кеВ і одержувати фокусну пляму діаметром близько 0,5 мм.

Відома також монолітна лінза, в якій стінки сусідніх каналів транспортування випромінювання контактують одна з одною по всій довжині, а самі канали мають змінний по довжині поперечний переріз, що змінюється за тим же законом, що й повний поперечний переріз лінзи (V M Andreevsky, M V Gubarev, P I Zhidkin, M A Kumakhov, A V Noskin, I Yu Ponomarev, Kh Z Ustok. X-ray waveguide system with a variable cross-section of the sections. The IV-th All-Union Conference on Interaction of Radiation with Solids. Book of Abstracts (May 15-19, 1990, Elbrus settlement, Kabardino-Balkarian ASSR, USSR, pp. 177-178) [3], патент США №5570408 (опубл. 29.10.96) [4]).

За допомогою цих лінз вдається фокусувати випромінювання з енергіями квантів до 20 - 25 кеВ.

Поперечний розмір каналу транспортування складає близько 10 мікрон, а в ряді випадків вдається добитися розмірів каналу до 2 - 3 мікрон. Такий же порядок має мінімальний розмір фокусної плями. На теперішній час ці лінзи, які називають лінзами другого покоління, є найефективнішими концентраторами рентгеновського випромінювання при їх використанні як джерел випромінювання рентгеновських трубок.

Недоліком монолітних лінз є погана повторюваність форм і розмірів. Крім того, практично не вдається створити лінзи достатньо великого (2-3 см і більше) діаметра з субмікронними каналами.

В міжнародних заявках PCT/RU94/00189 і PCT/RU94/00146 (міжнародні публікації WO 96/01991 [5] і WO 96/02058 [6] від 25.01.96) описані повна лінза і півлінза, виготовлені у вигляді сукупності щільно укладених мініатюрних лінз, кожна з яких являє собою монолітну лінзу. У такій конструкції вдається одержати відповідно більші, ніж у звичайної монолітної лінзи, поперечні розміри. Завдяки збільшенню апертури збільшується кут захоплення випромінювання точкового джерела.

Однак розміри поперечного перерізу каналів транспортування випромінювання і фокусної плями в цій лінзі залишаються такими ж, як і в звичайній монолітній лінзі, а укладання мініатюрних лінз для надання потрібної форми лінзі в цілому повинно проводитися вручну.

Лінза, яка виконана зі щільно укладених мініатюрних лінз і відноситься до третього покоління лінз розглядуваного призначення є найбільш близькою до пропонованої.

Технічний результат, який досягається в пропонованій лінзі, полягає у збільшенні ступеня фокусування випромінювання завдяки зменшенню поперечного перерізу каналів, забезпеченні можливості використання частинок більш високих енергій, а також у спрощенні технології виготовлення внаслідок виключення необхідності індивідуальної підгонки мініатюрних лінз при компоновці їх в єдину систему.

Пропонований спосіб має аналог - спосіб за патентом США №5812631 (опубл. 22.09.98) [7]. За цим способом здійснюють декілька (дві чи більше) стадій витягування заготовок, що являють собою розміщені в загальній оболонці заготовки, одержані на попередній стадії. Режим витягування з печі виробу, який є вихідним для отримання лінзи шляхом відрізання ділянки цього виробу, в цьому способі дозволяє безпосередньо одержати півлінзу, а для одержання повної лінзи здійснюють повторне витягування в печі вказаного виробу, який подається в піч іншим кінцем. Це ускладнює технологічний процес.

Однак значно суттєвішим є інший недолік цього способу. Він не передбачає дотримання умови, що полягає у забезпеченні наведеного вище співвідношення тисків в капілярах і просторі між заготовками. Без дотримання цієї умови тонкостінні капіляри, звичайно використовувані для виготовлення лінз розглядуваного призначення, під час витягування сплющуються, тобто одержання придатної для практичного застосування лінзи є неможливим. Тому спосіб за вказаним патентом США є здійснюваним (тобто дозволяє отримати принципово працездатні лінзи) лише при використанні каплярів, одержаних з товстостінних (з діаметром каналу, порівняного з товщиною стінки) трубок. Таке ж співвідношення зберігається і в готовій лінзі, внаслідок чого вона має досить малу прозорість. Наприклад, якщо діаметр каналу капіляра приблизно дорівнює товщині стінки, то прозорість знижується майже на порядок. Вона додатково знижується внаслідок того, що цей відомий спосіб передбачає отримання тільки таких лінз, у яких присутні внутрішні оболонки, оскільки не містить операцій по їх видаленню з поверхні заготовки.

Пропонований спосіб направлений на усунення відмічених недоліків вже відомого.

Описана в тому ж патенті США лінза охарактеризована як лінза, одержана за способом, що охороняється цим патентом. Через названі особливості способу і зумовлених ним недоліків одержувана лінза не лише відмінна від пропонованої, але й не може вважатися більш близькою до неї, ніж лінзи описані в міжнародних заявках.

PCT/RU94/00189 і PCT/RU94/00146 (міжнародні публікації WO 96/01991 [5] і WO 96/02058 [6] від 25 01 96)

Одним із застосувань рентгенівських лінз є аналітичні пристрої - засоби для аналізу структури (розподілу густини) об'єктів (включаючи медичні та інші біологічні об'єкти), елементного складу виробів і матеріалів. Використання для таких цілей випромінювань, зокрема рентгенівського, відоме вже давно (див., наприклад Автоматизация производства и промышленная электроника М., «Советская энциклопедия», 1964, т. 32, с. 277, т. 1, с. 209 [8], Физика визуализации изображений в медицине Под ред. С.Уэбба, т. 1, Москва, изд. «Мир», 1991 [9], Р.Вольдсет Прикладная спектрометрия рентгеновского випромінювання М., Атомиздат, 1977 [10]).

Якісно новий етап розвитку таких пристроїв почався із застосуванням в них лінз для керування використовуваним випромінюванням. Найбільш близьким до пропонованого є аналітичний пристрій за патентом США № 5497008 (опубл. 05 03 96) [11].

До складу цього аналітичного пристрою входить джерело випромінювання, яке являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, і засіб позиціонування досліджуваного об'єкта, розташований з можливістю дії на цей об'єкт випромінювання джерела. Крім того, аналітичний пристрій містить один або кілька детекторів випромінювання, розміщених з можливістю дії на них випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт або збудженого в ньому, одну чи кілька лінз для перетворення випромінювання, що являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, розташованих на шляху випромінювання від джерела до досліджуваного об'єкта і (або) на шляху від останнього до одного чи кількох із вказаних детекторів випромінювання, які містять у собі канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням.

При цьому відомий аналітичний пристрій за патентом США №5497008 передбачає використання в ньому відомих на час його розробки збірних (тобто першого покоління) чи монолітних (тобто другого покоління) полікапілярних лінз. Як вказувалося вище, ці лінзи не забезпечують можливості роботи в області достатньо високих енергій, а також не дають можливості створення малих фокусних плям, що обмежує точність і роздільну здатність аналізу.

Технічним результатом, якого можна досягти в пропонованому аналітичному пристрої, є підвищення точності й роздільної здатності аналізу, а також розширення можливостей аналізу за рахунок застосування випромінювань з більш високими енергіями, що стає можливим завдяки перевагам пропонованої інтегральної лінзи.

Відомі також пристрої для променевої терапії, які містять одне чи кілька джерел випромінювання, що являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок (зокрема, рентгенівського випромінювання, потоку протонів), оптичну систему для копіювання пучків кожного із джерел і засіб для позиціонування тіла пацієнта або його частини, що

підлягає опроміненню (див. Sandro Rossi and Ugo Amaldi The TERA Programme Status and Prospects In Advances in Neutron Capture Therapy Volume I, Medicine and Physics Proceedings of the Seventh International Symposium on Neutron Capture Therapy for Cancer Zurich, Switzerland, 4-7 September 1996 ELSEVIER, Amsterdam - Lausanne - New York - Oxford - Shannon - Singapore - Tokyo, 1997 [12]).

При використанні такого пристрою здорові тканини, розташовані на шляху випромінювання до пухлини, розташованої вглибину, зазнають інтенсивного опромінення.

Пропонований винахід, що відноситься до пристрою для променевої терапії, направлений на одержання технічного результату, який полягає у зменшенні дози опромінення, одержуваної тканинами, що оточують пухлину.

Ще однією з областей застосування рентгенівських лінз є мікроелектроніка, конкретніше - рентгенівська літографія.

Відомий пристрій для контактної рентгенівської літографії, який складається з джерела м'якого рентгенівського випромінювання, лінзи для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела в квазіпаралельне, утвореної каналами транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, і засобу для розміщення маски і підкладки з нанесеним на ній резистом (патент США №5175755, опубл. 29 12 92 [13]).

В цьому патенті пропонується використовувати для літографії лінзи першого і другого покоління. Однак жоден з цих типів лінз не забезпечує розв'язання задач літографії в мікроелектроніці. Ні в збірних лінзах (лінзи першого покоління), ні в монолітних лінзах (лінзи другого покоління) технологічно неможливо реалізувати розмір каналу на вході порядку 1 мікрона і на виході порядку 0,1 мікрона при вихідній апертурі 10 см² і більше, що необхідно для літографії в мікроелектроніці.

Технічним результатом пропонованого винаходу, який відноситься до пристрою для контактної літографії, є одержання придатного для використання в мікроелектроніці засобу.

Із вже названого патенту США 5175755 [13] відомий також пристрій для проєкційної рентгенівської літографії.

Цей пристрій має у своєму складі джерело м'якого рентгенівського випромінювання, лінзу для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела в квазіпаралельне, призначене для опромінення маски, засіб для розміщення маски, лінзу для передачі рентгенівського зображення маски зі зменшенням його розміру на резист, засіб для розміщення підкладки з нанесеним на ній резистом. При цьому обидві вказані лінзи містять канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням.

Цей пристрій при застосуванні в ньому відомих на момент його створення лінз першого і другого покоління (тобто збірної та монолітної лінз), як і розглянутий вище пристрій для контактної літографії, непридатний для застосування в мікроеле-

ктроніці внаслідок неможливості одержати в таких лінзах діаметри каналів, які забезпечують потрібну точність відтворення зображення маски на резисті.

Технічним результатом винаходу, який відноситься до пристрою для проекційної літографії, є одержання придатного для використання в мікроелектроніці засобу.

Розкриття винаходів

Для досягнення вказаного вище технічного результату, властивого пропонованій лінзі для перетворення випромінювання, що являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, ця лінза, як найбільш близька до неї відома [5, 6] містить у собі канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення випромінювання використовувального джерела.

На відміну від вказаної відомої, пропонована лінза виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції. При цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом сукупного витягування і формування укладених в пучок капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх капілярів. Сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз. Усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз. Кінці цієї єдиної структури обрізані й утворюють вхідний та вихідний торці лінзи.

Вказана єдина структура і лінзи кожного ступеня інтеграції можуть мати оболонку з того ж матеріалу, що і капіляри, або ж близького до нього за значенням коефіцієнта температурного розширення.

Оболонки підвищують жорсткість конструкції та міцність лінзи. Однак лінза, у якій сублінзи не мають оболонок, характеризується більшою прозорістю.

Завдяки описаному виконанню пропонована лінза, яка може бути названа інтегральною лінзою внаслідок об'єднання в ній надзвичайно великої кількості (10^5 і більше) каналів транспортування випромінювання (тому стосовно до сублінз застосовано поняття ступеня інтеграції), має канали значно меншого поперечного перерізу, ніж монолітна лінза, відома з [3, 4], або, мініатюрні лінзи в складі лінзи, відомої з [5, 6], оскільки на кожній стадії витягування відбувається зменшення діаметра каналів. Відповідно підвищується ступінь фокусування випромінювання, тобто зменшується

розмір фокусної плями.

Усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції можуть бути поміщені у загальну оболонку. Остання у цьому випадку є зовнішньою оболонкою лінзи.

У ряді застосувань виявляється корисною наявність на внутрішньому боці стінок каналів транспортування випромінювання покриття з одного чи кількох шарів одного й того ж чи різних хімічних елементів. Покриття наносяться перед виготовленням інтегральної лінзи на внутрішню поверхню трубок, з яких одержують капіляри. При цьому важливо, щоб коефіцієнт теплового розширення матеріалу покриття був близьким до коефіцієнта теплового розширення матеріалу, з якого виготовляють капіляри. У цьому випадку процес протікає без ускладнень. Багатошарові періодичні покриття дозволяють реалізувати переваги, зумовлені інтерференційними явищами, які виникають при відбиванні від поверхонь, що мають такі покриття. Зокрема, можлива монохроматизація випромінювання, що транспортується вздовж каналів з такими покриттями стінок. Нанесення шорсткого покриття призводить до появи дифузної складової при відбиванні і може створити умови для транспортування випромінювання при кутах падіння, що перевищують критичний кут повного зовнішнього відбивання.

Як і відомі лінзи попередніх поколінь, повна інтегральна лінза виконується з можливістю фокусування розбіжного випромінювання, для цього вхідні і вихідні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані, відповідно, в першу й другу фокусні точки. У першій з них при використанні лінзи розташовують джерело випромінювання, у другій формується фокусна пляма лінзи.

Для перетворення розбіжного випромінювання у квазіпаралельне, як і при використанні лінз попередніх поколінь, використовується інтегральна півлінза, у якій одні кінці каналів транспортування випромінювання орієнтовані в першу фокусну точку, а другі кінці паралельні один одному.

Повні інтегральні лінзи для фокусування розбіжного випромінювання не завжди доцільно робити симетричними.

Якщо розмір рентгенівського джерела достатньо великий, то має сенс фокусну відстань з боку вхідного торця лінзи робити великою, а фокусну відстань з боку вихідного торця - меншою, щоб фокусна пляма була невеликою. Для цього радіус кривини каналів в половині лінзи, яка прилягає до вхідного торця, повинен бути більшим, ніж радіус кривини каналів в половині лінзи, що прилягає до вихідного торця, тобто лінза повинна бути асиметричною відносно середнього по її довжині поперечного перерізу.

Інтегральна лінза може бути виконана також у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, і різними діаметрами з боку входу і виходу, зокрема для змінювання розміру поперечного перерізу транспортованого пучка. У цьому випадку вона має "пляшкоподібну" форму.

При створенні лінз традиційною є вимога, щоб усі канали транспортування лінз були заповнені випромінюванням повністю. Для цього необхідно, щоб фактор заповнення $\gamma = R(\theta_p)^2/2d$ був більшим

або дорівняв 1 (тут R - радіус кривини каналу, d - діаметр каналу, $\theta_{кр}$ - критичний кут повного зовнішнього відбивання)

Не завжди, проте, виконання цієї умови є доцільним

У випадку коли $\gamma \geq 1$, розмір фокусної плями лінзи дорівнює $d + 2f_{вик}\theta_{кр}$, де $f_{вик}$ - фокусна відстань лінзи з боку виходу Це означає, що розмір фокусної плями неможливо зробити меншим за d Якщо відмовитися від вимоги $\gamma \geq 1$, то буде мати місце лише часткове заповнення каналів випромінюванням При цьому рентгенівські фотони чи нейтрони "притискаються" до периферійного по відношенню до оптичної осі лінзи боку стінок каналів транспортування

Якщо фактор $\gamma \ll 1$, то ефективний розмір каналів може бути значно меншим, ніж розмір каналів d При цьому загальна трансмісія лінзи зменшується Але пропорційно зменшується і розмір фокусної плями, а площа фокусної плями зменшується ще швидше, завдяки чому зростає густина випромінювання в фокусній плямі

Лінзи розгляданого призначення характеризуються аберацією, яка полягає в тому, що положення фокусної плями у поздовжньому напрямку є досить розмитим Характерний розмір розмитості, як правило, перевищує в десятки і більше разів розмір фокусної плями в поперечному напрямку Дуже великий внесок в цю розмитість дають канали транспортування випромінювання, що прилягають до оптичної осі лінзи Участь цих каналів у формуванні фокусної плями призводить до збільшення і його поперечних розмірів, оскільки ці канали мають меншу (аж до нульової) кривину і для них неможливо виконати умову $\gamma \ll 1$ і навіть умову $\gamma < 1$

В одному з частинних випадків виконання пропонуваної лінзи вплив цих каналів на розмитість фокусної плями в поздовжньому напрямку і збільшення його поперечних розмірів можна виключити, закривши частину лінзи, що прилягає до оптичної осі, з боку входу чи виходу екранами або зробивши цю частину непрозорою для випромінювання іншим способом Наприклад, можна виконати суцільною (такою, що не має каналів) ту її частину, де могли б знаходитися сублінзи, для каналів яких $\gamma > 1$

Особливістю іншого частинного випадку виконання пропонуваної лінзи є те, що канали однієї чи кількох сублінз, розташованих поблизу поздовжньої осі лінзи, виконані з можливістю транспортування випромінювання в них при одноразовому повному зовнішньому відбиванні чи без нього Для цього вони можуть бути виконані, наприклад, меншої довжини, ніж канали сублінз, більш віддалених від поздовжньої осі лінзи Завдяки цьому зменшуються втрати випромінювання в каналах вказаних сублінз, і загальний коефіцієнт трансмісії лінзи зростає Такий же результат досягається (правда, разом зі збільшенням розмиття фокусної плями) при виконанні центральних каналів з більшим діаметром

Операції, що виконуються на різних етапах технологічного процесу виготовлення пропонуваної інтегральної лінзи, однотипні і не залежать від

того, яким є ступінь інтеграції використовуваних на кожному етапі сублінз Найбільш підходящим матеріалом для виготовлення інтегральних лінз є скло, можливим є використання також інших матеріалів, наприклад, кераміки, металів, сплавів

Пропонований спосіб виготовлення інтегральних лінз, як і відомий [7], містить дві або більше стадії одержання заготовок, поміщених в трубчасту оболонку При цьому в ролі заготовок на першій стадії використовують капіляри, а на кожній з наступних стадій - заготовки, отримані в результаті виконання попередньої стадії

На відміну від відомого, в пропонуваному способі здійснюють витягування трубчастої оболонки разом із заготовками, що її заповнюють, в печі, підтримуючи швидкість подачі в піч нижчою за швидкість виходу виробу з печі, при постійному співвідношенні між цими швидкостями, після чого одержують заготовки, які є результатом цієї стадії, шляхом розрізання виробу, що виходить з печі, по довжині

По закінченні останньої стадії заповнюють заготовками, отриманими на цій стадії, трубчасту оболонку, яку разом із заготовками, що її заповнюють, витягують у печі, підтримуючи швидкість подачі в піч нижчою за швидкість виходу виробу з печі, періодично змінюючи співвідношення між цими швидкостями для утворення на виробі, що виходить з печі, бочкоподібних стовщень, потім з цього виробу шляхом розрізання його по довжині одержують лінзи у вигляді ділянок виробу, які мають лише одне бочкоподібне стовщення

На усіх етапах здійснення способу використовують трубчасті оболонки, виконані з того ж матеріалу, що і капіляри, або близького до нього за коефіцієнтом температурного розширення, а процеси витягування трубчастих оболонок із заготовками, що їх заповнюють, проводять під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів заготовок, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення стінок сусідніх заготовок

В залежності від того, як відбувається розрізання (в перерізах, розташованих симетрично чи асиметрично по обидва боки від максимуму бочкоподібного стовщення, або ж у перерізі, що відповідає максимуму стовщення, та по обидва боки від нього), одержують симетричні чи несиметричні повні лінзи або півлінзи

Режим швидкості витягування (співвідношення між швидкістю подачі в піч трубчастої оболонки із заготовками та швидкістю виходу виробу з печі) визначає форму лінзи Зокрема, зміна цього співвідношення в процесі формування бочкоподібного стовщення призводить до одержання лінзи з різними радіусами кривини її каналів по різні боки від максимуму бочкоподібного стовщення

Лінзу у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, і кінцями каналів, паралельними поздовжній осі лінзи ("пляшкоподібну" лінзу) отримують, відділяючи у виробі, що виходить з печі, ділянку, розміщену між максимумом бочкоподібного стовщення і перерізом, розташованим по інший бік від точки перегину твірної на відрізу виробу, де діаметр його постійний

Для одержання лінз, що не мають оболонок, які охоплюють сублінзи, кожну зі стадій одержання заготовок завершують витравленням оболонок. Аналогічно, якщо необхідно отримати лінзи без зовнішньої оболонки, здійснюють витравлення цієї оболонки.

Пропонований аналітичний пристрій, як і найбільш близький до нього відомий [11], містить джерело випромінювання, що являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, засіб позиціонування досліджуваного об'єкта, розташований з можливістю дії на останній випромінювання вказаного джерела, один чи кілька детекторів випромінювання, розташованих з можливістю дії на них випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт або було збуджене в ньому, одну чи кілька лінз для перетворення випромінювання вказаного джерела чи збудженого в досліджуваному об'єкті випромінювання, розташованих на шляху випромінювання від джерела до досліджуваного об'єкта і (або) на шляху від останнього до одного чи кількох із вказаних детекторів випромінювання, і таких, що містять канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення транспортованого випромінювання.

На відміну від відомого, принаймні, одна з вказаних лінз виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції, при цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, яка є результатом сукупного витягування і формування пучка капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення стінок сусідніх капілярів. Сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, яка є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз. Усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, яка є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх сублінз. Кінці зазначеної єдиної структури обрізані й утворюють вхідний і вихідний торці лінзи.

Можлива ціла низка характерних геометрій розташування інтегральних лінз в аналітичному пристрої в поєднанні з деякими іншими його конструктивними особливостями.

Так, аналітичний пристрій може бути виконаний з можливістю сканування по поверхні чи об'єму досліджуваного об'єкта суміщених фокусів лінз, розташованих на шляху випромінювання від вказаного джерела до досліджуваного об'єкта і від останнього - до детектора. При такій геометрії можливий тривимірний локальний аналіз, якщо об'єкт сканується у трьох вимірах. Чутливість методу тут

є досить високою, оскільки на детектор потрапляє випромінювання, головним чином, з області, де обидві сублінзи мають спільний фокус.

У цій геометрії можливий частинний випадок, коли інтегральна лінза, розташована на шляху випромінювання від досліджуваного об'єкта до детектора, формує квазіпаралельний пучок, а між нею і детектором встановлені кристал-монокроматор або багаточарова дифракційна структура з можливістю варіювання їх положення і кута падіння на них вказаного квазіпаралельного пучка для забезпечення виконання умови Брегга для різних довжин хвиль випромінювання, збудженого в досліджуваному об'єкті. Використання лінзи суттєво зменшує втрати у порівнянні з колімаційним методом одержання паралельного пучка, що падає на монокроматор.

В іншій геометрії в ролі згаданого джерела використовується синхротронне чи інше джерело, яке дає паралельний пучок, а лінза, розташована на шляху випромінювання цього джерела до досліджуваного об'єкта, виконана з можливістю фокусування такого пучка.

Ще одна геометрія характеризується тим, що в аналітичному пристрої використовується джерело ширококутового рентгенівського випромінювання, транспортованого одночасно двома лінзами, виконаними з можливістю формування квазіпаралельного пучка. Між виходом кожної з таких лінз і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта розташовано по одному кристал-монокроматору, при цьому один з них встановлено з можливістю відпіння випромінювання, що має довжину хвилі нижче, а інший - вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється в досліджуваному об'єкті. В пристрої є два детектори, кожний з яких розташований після засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта таким чином, щоб приймати випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт, сформоване одним з кристалів-монокроматорів. Різниця вихідних сигналів детекторів пропорційна концентрації елемента, що перевіряється.

Подібними показниками характеризуються дві інші описані нижче геометрії.

В одній з них аналітичний пристрій містить разом з вказаним джерелом ще одне джерело рентгенівського випромінювання, при цьому випромінювання одного джерела має довжину хвилі нижче, а іншого - вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється в досліджуваному об'єкті. Між кожним із джерел і засобом позиціонування досліджуваного об'єкта встановлено по одній лінзі, виконаній з можливістю формування квазіпаралельного пучка. Пристрій містить два детектори, кожен з яких розташований після засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта таким чином, щоб приймати випромінювання, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт, тільки одного з джерел. Різниця вихідних сигналів детекторів, як і в попередньому випадку, пропорційна концентрації елемента, що перевіряється.

В іншій геометрії вказане джерело являє собою рентгенівське джерело з анодом, що забезпечує випромінювання з двома характеристичними

довжинами хвиль - нижче і вище лінії поглинання елемента, наявність якого перевіряється в досліджуваному об'єкті. Між цим джерелом і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта розміщується одна лінза, виконана з можливістю формування квазіпаралельного пучка. Перед цією лінзою або після неї встановлено обертовий екран з почерговими вікнами, закритими фільтрами, прозорими для однієї і непрозорими для іншої з вказаних довжин хвиль. Різниця вихідних сигналів детектора, що відповідають двом сусіднім вікнам, пропорційна концентрації елемента, що перевіряється.

Ще один вид геометрії характеризується використанням випромінювання вторинної мішені, встановленої на шляху випромінювання від вказаного джерела до досліджуваного об'єкта після лінзи. При цьому лінза виконана з можливістю фокусування випромінювання на вторинній мішені. Це дозволяє опромінювати досліджуваний об'єкт монохроматичним випромінюванням вторинної мішені, що підвищує чутливість аналізу у випадках, коли елементи, наявність яких перевіряється в об'єкті, мають лінії поглинання, близькі до ліній випромінювання вторинної мішені. Наявність лінзи, що концентрує випромінювання джерела на мішені, дозволяє компенсувати недолік цього методу, зумовлений невисокою інтенсивністю вторинного випромінювання.

Чутливість методу додатково підвищується в геометрії з вторинною мішенню, що характеризується наявністю між вторинною мішенню і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта другої лінзи.

Переваги використання поляризованого випромінювання для опромінення досліджуваного об'єкта в цьому випадку - такі ж, як при описуваній нижче геометрії, в якій на шляху випромінювання від джерела до досліджуваного об'єкта розташовані встановлені послідовно лінза і кристал-монохроматор чи багат шарова дифракційна структура. При цьому лінза виконана й орієнтована з можливістю формування квазіпаралельного пучка, що падає під кутом 45° на кристал-монохроматор чи багат шарову дифракційну структуру для формування ними поляризованого випромінювання, а детектор розташований під кутом 90° до напрямку розповсюдження вказаного поляризованого випромінювання. В цій геометрії завдяки поляризаційній селекції різко падає фон, зумовлений комптонівським розсіяним випромінюванням.

Наступна геометрія реалізує метод фазового контрасту. В цій геометрії в аналітичному пристрої на шляху випромінювання від джерела до досліджуваного об'єкта розташовані встановлені послідовно лінза і кристал-монохроматор. При цьому лінза виконана й орієнтована з можливістю формування квазіпаралельного пучка, що падає на кристал-монохроматор під кутом Бреґа, а на шляху випромінювання від досліджуваного об'єкта до детектора встановлено ідентичний вказаному кристал паралельно йому або з незначним відхиленням від паралельності. Це забезпечує можливість фіксації детектором фазового контрасту областей

досліджуваного об'єкта, що мають різну густину і викликають неоднакову рефракцію випромінювання, що на них падає.

Типова для медичних застосувань геометрія передбачає використання джерела рентгенівського випромінювання і виконання засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта з можливістю проведення досліджень частин чи органів людського тіла.

Зокрема, для використання аналітичного пристрою в маммографії джерело рентгенівського випромінювання має молібденовий анод, а засіб для позиціонування досліджуваного об'єкта виконано з можливістю проведення досліджень молочної залози.

При цьому інтегральна лінза розміщена на шляху випромінювання від джерела рентгенівського випромінювання з молібденовим анодом до досліджуваного об'єкта і виконана з можливістю формування квазіпаралельного пучка з поперечним перерізом, достатнім для одночасної дії на всю досліджувану область, а розташування детектора вибрано з умови забезпечення відстані між ним і досліджуваним об'єктом не менше 30 см. Використання паралельного пучка і такий вибір відстані дозволяють забезпечити хороший контраст одержуваного зображення без використання спеціальних засобів зменшення впливу розсіяного випромінювання, що виникає в досліджуваному об'єкті.

Ще однією з можливих областей застосування пропонуваного аналітичного пристрою в медичній діагностиці є комп'ютерна томографія.

У вже описаній геометрії, що передбачає використання джерела рентгенівського випромінювання і виконання засобу для позиціонування досліджуваного об'єкта з можливістю проведення досліджень частин чи органів людського тіла, передбачена можливість обертОВОГО руху відносно один одного, з одного боку, зазначеного засобу для позиціонування, і, з іншого боку, джерела випромінювання, лінзи, встановленої між ним і засобом для позиціонування досліджуваного об'єкта, і детектора, вихід якого підключено до комп'ютерних засобів обробки результатів детектування. При цьому інтегральна лінза виконана з можливістю фокусування випромінювання, створеного джерелом, всередині досліджуваного об'єкта. Точка фокусування відіграє роль віртуального джерела випромінювання, поміщеного всередину досліджуваного об'єкта, що зумовлює принципову відмінність від звичайного сканувального комп'ютерного томографа, де детектором сприймається випромінювання джерела, що пройшло крізь досліджуваний об'єкт, розташованого поза досліджуваним об'єктом. Завдяки цьому можна суттєво спростити процедуру одержання зображення невеликих областей досліджуваного об'єкта.

В пропонуваному винаході, що відноситься до пристрою для променевої терапії, зменшення дози опромінення, яку одержують тканини, що оточують пухлину, досягається шляхом фокусування випромінювання на пухлині, завдяки чому при тій же дозі, одержаній пухлиною, концентрація випромінювання в здорових тканинах, зокрема на шкірі

пацієнта, значно знижується

Для одержання вказаного результату запропонований пристрій, як і відомий, містить одне чи кілька джерел випромінювання, що являє собою потік нейтральних чи заряджених частинок, а також засіб для позиціонування тіла пацієнта або його частини, що підлягає опроміненню

На відміну від відомого, в запропонованому пристрої для променевої терапії між кожним із вказаних джерел і вказаним засобом для позиціонування встановлено лінзу для

фокусування випромінювання на пухлині пацієнта, що містить канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, орієнтовані вхідними кінцями з можливістю захоплення транспортованого випромінювання. Ця лінза виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції. При цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, яка є результатом сукупного витягування і формування пучка капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх капілярів. Сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз. Всі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз. Кінці зазначеної єдиної структури обрізані і утворюють вхідний і вихідний торці лінзи

В ролі вказаних джерел можуть бути використані, зокрема, атомний реактор або прискорювач, на виходах яких сформовані квазіпаралельні пучки теплових або надтеплових нейтронів

При цьому використовується інтегральна лінза може бути виконана з криволінійною поздовжньою віссю для повороту нейтронного пучка

Як уже відмічалася при обговоренні рівня техніки, ні в збірних лінзах (лінзи першого покоління), ні в монолітних лінзах (лінзи другого покоління) технологічно неможливо реалізувати розмір каналу на вході порядку 1 мікрона і на виході порядку 0,1 мікрона при вихідній апертурі 10см^2 і більше, що необхідно для літографії в мікроелектроніці. Вказані параметри цілком можуть бути реалізовані в запропонованому пристрої, що використовує інтегральну лінзу

Пропонований пристрій для контактної рентгенівської літографії, як і найбільш близький до нього відомий [13], містить джерело м'якого рентгенівського випромінювання, лінзу для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела у квазіпаралельне, яка містить канали транспорту-

вання випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням, і засоби для розміщення маски і підкладки з нанесеним на ній резистом

На відміну від відомого, в запропонованому пристрої вказана лінза виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції. При цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом сукупного витягування і формування пучка капілярів під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх капілярів. Сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз. Всі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз. Кінці зазначеної єдиної структури обрізані і утворюють вхідний і вихідний торці лінзи

Досягнення збільшеної точності відтворення зображення маски на резисті до рівня, достатнього для проекційної літографії в мікроелектроніці, стає можливим завдяки використанню в пристрої запропонованих інтегральних лінз

Пропонований пристрій для проекційної рентгенівської літографії, як і найбільш близький до нього відомий [13], містить джерело м'якого рентгенівського випромінювання, лінзу для перетворення розбіжного випромінювання вказаного джерела в квазіпаралельне, призначене для опромінення маски, засіб для розміщення маски, лінзу для передачі рентгенівського зображення маски зі зменшенням його розміру на резист, засіб для розміщення підкладки з нанесеним на ній резистом. При цьому обидві вказані лінзи містять канали транспортування випромінювання, що межують своїми стінками, з повним зовнішнім відбиванням

На відміну від вказаного відомого, в запропонованому пристрої для проекційної літографії, принаймні друга з вказаних лінз виконана у вигляді сукупності сублінз різного ступеня інтеграції. При цьому сублінза найменшого ступеня інтеграції являє собою сукупність каналів транспортування випромінювання, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів капілярів, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх капілярів. Сублінза кожного вищого ступеня інтеграції являє собою сукупність сублінз попереднього ступеня інтеграції, що є результатом їх сукупного витягування і формування

під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз. Усі сублінзи найвищого ступеня інтеграції скомпоновані в єдину структуру, що є результатом їх сукупного витягування і формування під тиском газового середовища в просторі між ними, меншим за тиск всередині каналів сублінз, і при температурі, достатній для розм'якшення матеріалу та сплавлення стінок сусідніх сублінз, кінці згаданої єдиної структури обрізані й утворюють вхідний і вихідний торці лінзи.

Для зменшення розміру зображення, що передається на резист, друга з використовуваних в пристрої лінз виконана у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин, і з паралельними поздовжній осі лінзи вхідними й вихідними кінцями каналів, причому вхідний діаметр лінзи більший за вихідний. Таке ж співвідношення має місце між діаметрами окремих каналів транспортування випромінювання на вході й виході лінзи.

Співвідношення вказаних діаметрів, яке на практиці повинно бути значно більшим за 1, визначає ступінь зменшення зображення маски при передачі його на резист, і, отже, ступінь мініатюризації виготовлюваних виробів мікроелектроніки.

Короткий опис фігур креслень

Пропоновані винаходи ілюструються кресленнями, на яких показані

на фіг 1, 8, 9 - схематичні зображення відповідно повної лінзи, півлінзи й лінзи у вигляді тіла обертання з твірною, що має перегин,

на фіг 2 - процес багаторазового відбивання випромінювання при розповсюдженні його вздовж каналу транспортування,

на фіг 3 - формування фокусної плями,

на фіг 4, 5 - процеси багаторазового відбивання випромінювання при розповсюдженні його вздовж каналу транспортування і формування фокусної плями у випадку, коли має місце ефект "притискання" випромінювання до зовнішнього боку стінки каналу,

на фіг 6 - повна лінза з центральною частиною, що не містить каналів транспортування випромінювання,

на фіг 7 - повна лінза з неоднаковими радіусами кривини каналів з боку входу і з боку виходу,

на фіг 10 - схематичне зображення поперечного перерізу пропонованої лінзи,

на фіг 11 - схематичне зображення однієї із сублінз,

на фіг 12 - схема здійснення операції витягування при виготовленні заготовок у пропонованому способі,

на фіг 13 - схема виконання операції витягування і формування на заключному етапі здійснення пропонованого способу,

на фіг 14 - схематичне зображення виробу, одержуваного в результаті витягування і формування на заключному етапі пропонованого способу, із вказанням розташування перерізів розрізання для одержання різних видів лінз,

на фіг 15 - 24 - різні варіанти геометрії розташування складових частин пропонованого аналі-

тичного - використання інтегральної лінзи в аналітичному пристрої, що використовується в комп'ютерній сканувальній томографії,

на фіг 27, 28 - використання інтегральної лінзи в променевої терапії,

на фіг 29, 30 - геометрія розташування складових частинок пропонованих пристроїв для контактної та проєкційної литографії.

Варіанти здійснення винаходів

Повна інтегральна лінза 1 (фіг 1) має вхідний 2 і вихідний 3 фокуси, розташовані на її оптичній осі 4 в точці перетину продовжень осевих ліній каналів транспортування випромінювання. Один з таких каналів 5 показано на фіг 2. Захоплена вхідним кінцем каналу частинка рухається в каналі по траєкторії 6, відбиваючись від стінок 7 каналу під кутами меншими за критичне значення $\theta_{кр}$ кута повного зовнішнього відбивання. Величина $\theta_{кр}$ має порядок кількох мілірадіанів. Канали в поперечному перерізі мають розміри порядку долей мікрона, а кількість їх, як уже відмічалось, має порядок мільйона. Тому зображення, що наводяться, є умовними і масштаб на фігурах є досить далеким від реального.

З фіг 3, що ілюструє формування фокусної плями випромінювання, що виходить з каналів 5, видно, що фокусна пляма у поздовжньому напрямку розмита і може мати розмір 9, що значно перевищує розмір 8 в поперечному напрямку. Це явище відноситься до одного з видів аберацій в оптичних системах. Для зменшення такої аберації можна рекомендувати при виготовленні інтегральної лінзи виходити не з традиційної умови заповнення випромінюванням всього поперечного перерізу каналу транспортування ($\gamma \geq 1$), а з протилежної умови ($\gamma < 1$) або навіть з умови $\gamma \ll 1$. Характер траєкторії 6 частинки, захопленої каналом, в цьому випадку ілюструється фіг 4. Відбивання при цьому відбувається кожного разу від одного й того ж боку стінки 7 каналу 5, і випромінювання неначе "притискається" до неї, займаючи невелику частину поперечного перерізу каналу. В результаті розмір фокусної плями визначається розміром цієї частини поперечного перерізу каналу і досягається такий же ефект, як і при зменшенні вказаного перерізу. Оскільки для зменшення ступеня заповнення випромінюванням поперечного перерізу каналу, за інших рівних умов, необхідно зменшувати радіус кривини каналів, продовження їх вихідних кінців сходяться в області фокуса під більшими кутами. Завдяки цьому зменшується розмір фокусної плями в поздовжньому напрямку, що сприяє усуненню згаданої вище аберації. Описані явища ілюструються фіг 5, на якій зачернено частини 10 каналів 5, що беруть участь у транспортуванні випромінювання. Видно, що розміри фокусної плями 11 в обох напрямках менші, ніж на фіг 3.

Для центральних (тих, що прилягають до оптичної осі лінзи) каналів, які мають меншу кривину, ніж периферійні, виконання умов $\gamma \ll 1$ або $\gamma < 1$ може виявитися неможливим. Для виключення їх негативного впливу центральна частина лінзи може бути виконана такою, що не містить каналів транспортування випромінювання (див. фіг 6, на

якій штриховкою показано суцільну центральну частину 12) або закрита з боку джерела екраном

В симетричній (відносно середнього по довжині лінзи поперечного перерізу) повній лінзі кожен канал має постійний радіус кривини, який є тим меншим (тобто кривина каналу більша), чим віддаленим від оптичної осі лінзи 4 є канал (див фіг 1, фіг 6) Повна лінза може бути виконана і несиметричною відносно вказаного перерізу, як показано на фіг В несиметричній лінзі кривина кожного каналу не є постійною по його довжині При цьому вона більша для кінців усіх каналів, що примикають до одного з торців, і менша для протилежних кінців тих же каналів, що примикають до іншого торця На фіг 7 меншу кривину (більший радіус кривини) мають канали, що примикають до лівого торця Центр кривини може займати різне положення (на фіг 7 - позиції 13 і 14) для різних ділянок каналів кінців

Інтегральна півлінза 14 (фіг 8а) має лише один фокус 2 з боку меншого (лівого за фіг 8а) торця Кінці каналів, що примикають до цього торця, орієнтовані в напрямку фокуса 2 Кінці каналів, що примикають до більшого (правого за фіг 8а) торця, паралельні оптичній осі 4 півлінзи 14 Якщо фокус 2 суміщено з точковим джерелом, випромінювання 15 на виході півлінзи 14 буде квазіпаралельним При подачі такого випромінювання 16 з боку більшого торця (фіг 8б) вихідними стають кінці каналів, що примикають до меншого (правого за фіг 8б) торця Випромінювання, що виходить з півлінзи 14, у цьому випадку концентрується в фокусі

Торці повної лінзи 1 і півлінзи 14, спрямовані до фокусів, можуть бути оброблені для надання їм форми сфери з центром у відповідному фокусі, як показано на фіг 1, фіг 7 і фіг 8а, 8б У цьому випадку забезпечуються рівні умови захоплення випромінювання точкового джерела для всіх каналів

"Пляшкоподібна" лінза 17 (фіг 9) має кінці каналів з боку обох торців, паралельні оптичній осі лінзи Така лінза має форму тіла обертання з перетином твірної

Вхідний квазіпаралельний пучок 16, що подається на менший (лівий за фіг 9) торець перетворюється нею у вихідний квазіпаралельний пучок 16' з більшим перерізом При подачі вхідного випромінювання на більший (правий за фіг 9) торець, навпаки, відбувається зменшення поперечного і розміру вихідного пучка у порівнянні з вхідним Якщо вхідний пучок є носієм зображення, наприклад рентгенівського, і розподіл інтенсивності випромінювання в поперечному перерізі пучка має характер, що відповідає цьому зображенню, то масштаб зображення на виході лінзи відповідним чином змінюється В інтегральній лінзі зміна масштабу зображення може досягати двох порядків, а малий діаметр каналів у поєднанні з відсутністю затінювального впливу оболонок сублінз (у випадку, коли при виготовленні лінзи здійснюється їх витравлення) забезпечує хорошу якість відтворення деталей зображення

Загальна для всіх типів інтегральних лінз картина поперечного перерізу (з урахуванням зробленого вище зауваження відносно умовності зображення і його масштабу) показана на фіг 10 На

цій фігурі зображено частинний випадок, у якому як лінза в цілому, так і сублінзи, мають оболонки Канали 5 транспортування випромінювання знаходяться всередині оболонок 18 сублінз найменшого (першого) ступеня інтеграції Групи таких сублінз, що утворюють сублінзи наступного (другого) ступеня інтеграції, поміщені в оболонки 19 Сукупність таких сублінз утворює лінзу в цілому з оболонкою 20

Форма однієї з периферійних (віддалених від оптичної осі лінзи) сублінз 18, 19 показана на фіг 11

Слід звернути увагу на те, що конструкція пропонуваної інтегральної лінзи не являє собою просто результат складання в прямій послідовності спочатку каналів-капілярів в лінзі першого ступеня інтеграції, потім групування останніх в лінзі другого ступеня інтеграції, і т д Ця конструкція нерозривно пов'язана з пропонованим способом виготовлення, чим і пояснюється присутність в її характеристиці ознак цього способу Сублінзи будь-якого ступеня інтеграції та інтегральна лінза з'являються не в процесі складання, а тільки в результаті здійснення способу в цілому - після завершення формування, якому передують кілька стадій витягування До проведення формування ще немає ні лінзи в цілому, ні сублінз, що входять до її складу, а є лише заготовки з прямими каналами Присутнє в характеристиці інтегральної лінзи "формування" як ознака сублінз різного ступеня інтеграції і лінзи в цілому є саме згаданим вище формуванням, яке здійснюється на заключному етапі способу Тільки після такого формування частини інтегральної лінзи, які називають сублінзами найвищого ступеня інтеграції, і частини цих сублінз, які називають сублінзами нижчих ступенів інтеграції, набувають властивостей лінз, які відрізняють їх від набору паралельних каналів Разом з тим, виготовленню інтегральної лінзи вже не можна розібрати на сублінзи й окремі канали Тому сублінза, показана на фіг 11, не існує поза інтегральною лінзою в цілому (аналогічно до того, як з інтегрованої мікросхеми не можна фізично виділити окремих електронних компонентів) Не існуючи "самостійно", кожна сублінза виконує підпорядковану роль у складі лінзи в цілому, що й відображається префіксом "суб" у її назві Ця причина зумовлює використання терміна "сублінза" (а не "лінза") для позначення складових елементів інтегральної лінзи

Таким чином, не лише велика кількість каналів у лінзі в цілому і в кожній з сублінз, а й відмічені обставини є підставою для застосування терміна "інтегральна" у назві пропонованого винаходу, що відноситься до лінзи, і поняття "ступінь (рівень) інтеграції" для характеристики сублінз В сублінзі першого ступеня (рівня) інтеграції інтегровані (об'єднані) лише окремі капіляри, в сублінзах другого і вищих ступенів інтеграції інтегровані вже елементи, які самі у функціональному відношенні є лінзами (сублінзи першого, другого і т д ступенів інтеграції)

Як було відмічено вище при характеристиці пропонованого винаходу, що відноситься до інтегральної лінзи, оболонки сублінз, наявність яких

зумовлена технологією виготовлення і для усунення яких необхідно доповнювати спосіб виготовлення операціями витравлення цих оболонок, відіграють і позитивну роль, підвищуючи жорсткість конструкції. Для них необхідно використовувати такий же матеріал, як і для капілярів, чи близький до нього за значенням коефіцієнта температурного розширення. Оболонки, усунення яких ускладнює технологічний процес, лише незначно погіршують прозорість лінзи. Більш суттєвим є їх негативний вплив на рівномірність передачі інтенсивності випромінювання по поперечному перерізу пучка. Тому використання лінз без оболонок, що охоплюють сублінзи, є необхідним не стільки для підвищення прозорості лінзи, скільки для усунення причини нерівномірності передачі інтенсивності по поперечному перерізу пучка, що може бути важливим у деяких застосуваннях.

Для виготовлення описаних лінз за пропонуванним способом трубчасту оболонку 21 (фиг 12), наприклад, скляну, заповнену заготовками, одержаними на попередній стадії способу, подають вертикально в піч 22 за допомогою верхнього привода 23 і здійснюють витягування її з печі зі швидкістю, що перевищує швидкість подачі, за допомогою нижнього привода 24. В результаті витягування одержують виріб 25 суттєво меншого діаметра, ніж діаметр оболонки 21 на вході в піч. Температура в печі повинна бути достатньою для розм'якшення матеріалу і сплавлення сусідніх заготовок, що заповнюють трубчасту оболонку 21. На першій стадії в ролі заготовок, якими заповнюють трубчасту оболонку, використовують капіляри, зокрема, скляні, одержані із скла тієї ж марки, що й оболонка. Самі скляні капіляри можуть бути одержані за аналогічною технологією шляхом витягування скляних трубок з подальшим розрізанням їх на капіляри потрібної довжини.

При витягуванні в печі створюють осесиметричне температурне поле з показанням на фиг 12 розподілом температури T по висоті L печі, що має вузький максимум 27. Область переходу 26 початкового діаметра трубчастої оболонки 21, заповненої заготовками, в менший діаметр виробу 25 розташовується в зоні вузького піка 27 розподілу температури по висоті печі.

Щоб попередити сплющування ("схлопування") капілярів в процесі витягування, супроводжуваного стискуванням заготовок, поміщених в трубчасту оболонку, тиск в просторі між ними підтримують нижчим, ніж всередині каналів заготовок (в кінцевому підсумку, важливо підтримувати вищий, ніж у вказаному просторі, тиск в каналах капілярів сублінз найменшого ступеня інтеграції). Для цього верхні кінці заготовок перед поміщенням заготовок в оболонку закривають (наприклад, оплавляють верхні кінці заготовок), а в процесі витягування здійснюють відсмоктування газу з верхнього кінця оболонки з поміщеними в неї заготовками (відсмоктування схематично показано позицією 28 на фиг 12). Герметизації нижніх кінців каналів заготовок і оболонки з поміщеними в неї заготовками не вимагається, оскільки близький до герметизації результат досягається завдяки суттє-

вому зменшенню діаметра виробу, що виходить з печі, порівняно з початковим діаметром оболонки із заготовками, що подається в піч зверху.

Одержаний в результаті витягування виріб після охолодження розрізають, отримуючи заготовки для подальшої стадії. Ними знову заповнюють трубчасту оболонку і здійснюють витягування, аналогічно попередній стадії.

Одержані на кожній стадії заготовки перед заповненням ними трубчастої оболонки, призначеної для використання на наступній стадії, піддають травленню кислотою для видалення матеріалу оболонок, якщо необхідно одержати лінзу, сублінзу якої не мають оболонок.

Описаних стадій виконують декілька (звичайно 3 - 5), після чого переходять до заключного етапу здійснення способу. На цьому етапі (фиг 13) витягування виробу з печі періодично уповільнюють і знову прискорюють, в результаті чого виникають стовщення 28, з'єднані, звуженнями 29. Частини стовщень, що безпосередньо примикають до максимуму, мають бочкоподібну форму. Регулюванням змінної швидкості витягування, тобто співвідношенням швидкостей верхнього й нижнього приводів 23, 24, домагаються бажаної кривини бочкоподібних твірних, по яких розташовані канали, в тому числі можливе одержання несиметричних відносно максимуму стовщень. На цьому етапі, як і на попередніх стадіях одержання заготовок, здійснюють закриття верхніх кінців каналів заготовок перед поміщенням їх в трубчасту оболонку і відсмоктування газу з верхнього кінця оболонки з поміщеними в неї заготовками (на фиг 13 відсмоктування не показано).

Одержаний на цьому етапі виріб з періодичними стовщеннями (фиг 14) розрізають по довжині, отримуючи лінзи потрібного типу. Позиції 30, 31, 32 на фиг 14 показують ділянки виробу, відділяючи котрі можна одержати, відповідно, повну лінзу, півлінзу або "пляшкоподібну" лінзу.

При використанні інтегральних лінз в аналітичних пристроях при дефектоскопії, елементному аналізі, аналізі внутрішньої структури об'єктів і діагностиці в техніці й медицині можливе величезне число геометрій взаємного розташування джерел випромінювання, об'єкта аналізу, засобів детектування випромінювання, лінз та інших елементів. Нижче розглядаються лише окремі з них у сполученні з деякими конструктивними особливостями аналітичного пристрою, пов'язаними з відповідними геометріями.

Одним з конструктивних елементів аналітичного пристрою є засіб для позиціонування досліджуваного об'єкта, що в подальшому буде іноді називатися також зразком. Оскільки під час роботи аналітичного пристрою відбувається взаємодія випромінювання із зразком, надалі, як правило, буде згадуватися безпосередньо досліджуваний об'єкт (зразок), а не засіб для його позиціонування, хоча саме він (а не зразок) є конструктивним елементом аналітичного пристрою.

Висока ефективність аналізу завдяки фокусуванню випромінювання джерела в одній точці на поверхні досліджуваного зразка в поєднанні зі збиранням розсіяного зразком випромінювання в

деякому тілесному куті з подальшою концентрацією його на детекторі досягається завдяки геометрії, показаний на фіг 15. Тут повні лінзи 1 і 1' мають суміщений фокус 34, яким можуть скануватися поверхня чи внутрішні області зразка 33. Детектор 35 сприймає сфокусоване другою лінзою 1' випромінювання. Використання лінзи 1, що фокусує на об'єкті аналізу випромінювання точкового джерела 2, і згаданої вище лінзи 1 дозволяє здійснити аналіз при малопотужному джерелі 2.

Схожа геометрія (без другої лінзи 1') застосовується в енергодисперсійному методі, коли використовується напівпровідниковий детектор. При цьому лінза 1 фокусує випромінювання на об'єкті (зразку), детектор 35 впритул присувається до зразка 33 і реєструє як флуоресцентне, так і розсіяне зразком випромінювання. У такій геометрії інтегральна лінза 1 збільшує потік фотонів на зразку, а наближення детектора до зразка дає можливість зібрати більшу кількість фотонів. Лінза 1 очищує спектр джерела від високоенергетичних фотонів, які дають на зразку великий фон розсіяного випромінювання. Завдяки фокусуванню випромінювання на малу область зразка 33 забезпечується локалізація аналізу.

Важливим частинним випадком конструкції аналітичного пристрою є використання рентгеновських трубок з простірним анодом. Якщо використовується лінза з дуже малою фокусною відстанню (наприклад, лінза, в якій при факторі $y \ll 1$ виникає ефект "притискання" випромінювання до зовнішнього боку каналів транспортування), то таку лінзу можна впритул присунути до простірний анода. При цьому розміри лінзи можна зробити невеликими, зберігаючи одночасно великий кут захоплення. Особливо ефективною є така комбінація (трубка з простірним анодом плюс інтегральна лінза) у випадку, якщо анод є мікрофокусним (0,1 - 100 мікрон). Оскільки тілесний кут випромінювання простірний анода великий (близький до півсфери), трубку з простірним анодом можна використовувати ефективно одночасно з кількома лінзами, кожна з яких захоплює випромінювання з частини вказаного тілесного кута.

Стосовно до описаних схем і тих, котрі будуть розглядатися в подальшому, необхідно зазначити, що вони містять мінімум елементів, достатній для виконання пристроєм функції аналізу - одержання тієї чи іншої інформації про досліджуваний об'єкт. Для того, щоб забезпечити одержання інформації, найбільш зручної для безпосереднього використання, підвищити оперативність отримання інформації у найбільш наочній формі та ін. цілей аналітичні пристрої доповнюються засобами обробки і подання інформації, що підключаються до виходу детектора. Такі засоби здійснюють перетворення вихідних сигналів детектора, здійснюють їх візуалізацію синхронно з механічними переміщеннями елементів аналітичного пристрою і т.д. Згадана синхронізація потребує зв'язку засобів обробки і подання інформації із засобами, що здійснюють переміщення. Засоби обробки і подання інформації, які використовуються разом з аналітичними пристроями, відомі досить добре (див. наприклад,

засоби, описані в [9], [10]), і їх функції та структура не залежать від того, яким чином одержано сигнали, що несуть інформацію про об'єкт аналізу. Саме тому в ролі виходу аналітичного пристрою прийнято розглядати вихід детектора - елемента, чутливого до випромінювання, що є результатом взаємодії випромінювання джерела з об'єктом аналізу і тому таким, що несе інформацію про властивості останнього. Такий підхід до описання аналітичних пристроїв прийнято і в патентній літературі (див., наприклад, [4], [5], [6]).

У наступній з розглядуваних геометрій (фіг 16) застосовано засіб монохроматизації випромінювання, збудженого в зразку 33 - кристал-монохроматор 36. Випромінювання монохроматизується завдяки тому, що умови відбивання від нього паралельного пучка виконуються у дуже вузькому інтервалі енергій частинок. Для одержання паралельного пучка й одночасно для збору випромінювання, розсіяного досліджуваним об'єктом, використовується півлінза 14, її фокус суміщено з фокусом повної лінзи 1, що фокусує випромінювання точкового джерела 2 в точці 34, що належить до об'єкта аналізу. Варіювання енергії частинок, що потрапляють на детектор 35, шляхом зміни кутового положення кристалу-монохроматора дозволяє більш детально досліджувати властивості зразка, зокрема досліджувати його наявність у ньому певних хімічних елементів.

Геометрія за фіг 17 відрізняється від попередньої тим, що замість точкового джерела передбачається використання джерела квазіпаралельного випромінювання 17, в ролі якого може виступати, наприклад, синхротронне джерело. Півлінза 14' фокусує випромінювання цього джерела в точці 34, яка одночасно є фокусом півлінзи 1, що створює квазіпаралельний пучок для монохроматора 36.

Спільною особливістю наступних двох геометрій (фіг 18 і фіг 19) є те, що досліджуються одночасно випромінювання, що проходить крізь зразок, і випромінювання, збуджене у зразку під час дії на нього монохроматичних випромінювань двох близьких довжин хвиль.

В геометрії за фіг 18 такі випромінювання одержують від одного ширококутового точкового джерела 2 за допомогою двох кристалів-монохроматорів 36 і 36', опромінюючи їх паралельними пучками, отриманими за допомогою півлінз 14 і 14', спільний фокус яких збігається з джерелом 2. Для попередження прямого попадання випромінювання джерела 2 на зразок 33 між ними може бути встановлено поглинальний екран (на фіг. не показаний). Вихідні сигнали детекторів 35 і 35' розрізняються у тій мірі, у якій є відмінною реакція досліджуваного об'єкта на опромінення його потоками частинок з різними, проте близькими енергіями. Різниця цих сигналів несе інформацію лише про таку відмінність. Тому якщо одна зі згаданих енергій є вищою, а інша - нижчою за ліній поглинання елемента, наявність якого необхідно виявити у зразку, то завдяки виключенню впливу на різницю вихідних сигналів детекторів 35 і 35' усіх інших факторів чутливість пристрою буде

дуже високою. Ця геометрія може застосовуватись, наприклад, в ангіографії, коли у кров пацієнта вводять йод, і дозволяє збільшити чутливість методу приблизно на два порядки у порівнянні з випадком, коли за відсутності лінз для забезпечення паралельності випромінювання, що падає на монохроматори, доводиться збільшувати відстань між ними і джерелом.

В геометрії за фіг 19, яка реалізує той же принцип, для одержання частинок з різними, але близькими енергіями, використовуються два різних точкових джерела 2 і 2', випромінювання яких має яскраво виражені характеристичні лінії у одного вище, а у іншого - нижче лінії поглинання елемента, що підлягає виявленню. Випромінювання кожного з цих джерел перетворюється на квазі-паралельне випромінювання, що діє безпосередньо на зразок 33, півлінзами 14 і 14'.

Ще один варіант реалізації того ж принципу подано на фіг 20. У цій геометрії випромінювання з двома енергіями, що діють на зразок 33, формуються по черзі в результаті пропускання випромінювання одного й того ж широкопasmового точкового джерела 2 крізь по чергові вікна-фільтри обертового екрана 37. Ці вікна чергуються таким чином, що вони прозорі для однієї і непрозорі для другої з довжин хвиль випромінювання, яке повинно діяти на об'єкт аналізу. Обертовий екран 37 з вікнами може бути встановлено як після півлінзи 14, яка перетворює розбіжне випромінювання джерела в квазіпаралельне (цей випадок показано на фіг 20), так і перед нею. Різниця вихідних сигналів детектора 35, яка відповідає двом сусіднім положенням обертового екрана 37, може бути використана таким же чином, як і в геометріях за фіг 8 і фіг 19.

В геометрії за фіг 21 передбачено використання вторинної мішені 38, що дозволяє одержати монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі, що визначається властивостями мішені. Недоліком відомих пристроїв з вторинною мішенню є досить низька інтенсивність вторинного випромінювання. Завдяки використанню в описуваній геометрії лінзи 1 вплив цього недоліку усувається. Лінза 1 концентрує випромінювання джерела на мішені в малій області 34 фокусної плями. Випромінювання з вторинної мішені 38 потрапляє на досліджуваній об'єкт 33, у якому виникає флуоресцентне випромінювання, що потрапляє на детектор 35. Така геометрія дозволяє опромінити досліджуваній об'єкт достатньо інтенсивним монохроматичним випромінюванням вторинної мішені.

В геометрії за фіг 22 зразок 35 теж опромінюється монохроматичним випромінюванням, однак джерелом його є не вторинна мішень, а кристал-монохроматор 36. Паралельний пучок, необхідний для формування монохроматичного випромінювання, формується із розбіжного випромінювання широкопasmового джерела 2 півлінзою 14. Варіюючи кутове положення кристал-монохроматора, можна змінювати довжину хвилі (енергію частинок) випромінювання, що діє на досліджуваній об'єкт.

В геометрії за фіг 23 також використано кристал-монохроматор 36, опромінюваний квазіпара-

пельним пучком, що формується півлінзою 14. У цій геометрії використовується властивість кристал-монохроматора формувати поляризоване випромінювання. Для цього згаданий квазіпаралельний пучок направляють на кристал-монохроматор 36 під кутом $\theta = 45^\circ$. Дифраговане випромінювання від кристал-монохроматора 36 потрапляє на досліджуваній зразок 33, а випромінювання від досліджуваного зразка 33 - на детектор 35, встановлений під кутом 90° до напрямку розповсюдження поляризованого випромінювання кристал-монохроматора 36. Завдяки цьому має місце поляризаційна селекція, і детектор 35 є вільним від впливу фону, що створюється розсіяним комптонівським випромінюванням, яке виникає в досліджуваному зразку під час дії на нього випромінювання від кристал-монохроматора 36.

Замість кристал-монохроматора у цій геометрії можна використовувати мішень з легкого металу, наприклад берилію.

Геометрія за фіг 24 використовується для реалізації методу фазового контрасту. У цьому методі зразок опромінюється монохроматичним випромінюванням, створюваним першим кристалом-монохроматором 36, паралельний пучок для якого формується із розбіжного випромінювання джерела 2 півлінзою 14. Випромінювання падає на кристал-монохроматор 36 під кутом Бреґа θ_{Br} . Після зразка встановлено другий кристал-монохроматор 36', ідентичний першому, з можливістю варіювання у невеликих межах його кутового положення відносно положення, паралельного першому. При наявності у зразку неоднорідностей, що мають відмінну від сусідніх областей густину, випромінювання, проходячи крізь такі неоднорідності, заломлюється в них інакше, ніж у сусідніх областях. Це може бути зафіксовано появою сигналу на виході детектора 35 при певному положенні другого кристал-монохроматора. Чутливість методу фазового контрасту є набагато більшою порівняно з безпосередньою фіксацією різниці густин, наприклад, за відмінністю інтенсивностей випромінювання, що пройшло крізь сусідні області об'єкта з різними, проте близькими густинами. Використання лінз дозволяє працювати при збільшених абсолютних значеннях інтенсивності квазіпаралельного випромінювання, що падає на кристал-монохроматор, і випромінювання, що потрапляє на детектор, без збільшення потужності джерела.

Вище, на прикладі застосування в ангіографії, вже говорилося про можливість використання аналітичного пристрою для цілей медичної діагностики.

На фіг 25 також показано використання інтегральної півлінзи в аналітичному пристрої, що розв'язує задачі медичної діагностики. Досліджуваній об'єкт - частина чи об'єкта розсіяне в об'єкті ненаправлене випромінювання досягає детектора зі значним (більше ніж у 30 разів) послабленням. Тому можна обійтися без антирозсіювальних пристроїв, використання яких для підвищення контрастності зображення пов'язано зі збільшенням дози опромінення.

Використання інтегральних лінз дозволяє розв'язати задачі ранньої діагностики онкологічних

захворювань завдяки роздіпленню близько 50 - 100 мікрон, що при цьому досягається. В маммографічних дослідженнях доцільно використовувати в ролі джерела рентгеновську трубку з молібденовим анодом ($E = 17,5 \text{ кеВ}$)

Ще однією перспективною областю застосування аналітичних пристроїв з інтегральними лінзами в медичній діагностиці є сканувальна комп'ютерна томографія. В сучасних томографах отримують картину розподілу густини тканин людського організму шляхом реєстрації інтенсивності випромінювання, що пройшло від джерела до детектора. Для того, щоб одержати розрахунковим шляхом інформацію про розподіл густини у тому чи іншому зрізі з хорошим розділенням, виникає потреба робити велику кількість (звичайно більше ста) опроміненнь цього зрізу під різними кутами. При цьому доза звичайно є великою - порядку 1 Рентгена.

Використання інтегральної лінзи з високим ступенем фокусування випромінювання дозволяє радикально змінити ситуацію. Як показано на фіг 26, повна лінза 1 розміщується між джерелом 2 і пацієнтом 39 таким чином, щоб другий фокус розташовувався всередині досліджуваної області. Детектор 35, як завжди, знаходиться по іншій бік від пацієнта у напрямку виходу випромінювання. Точка, у якій фокусується випромінювання, відіграє роль віртуального джерела випромінювання, поміщеного всередину досліджуваного об'єкта. Завдяки цьому у поєднанні з надзвичайно малими розмірами такого джерела суттєво зменшується геометрична нерізкість від джерела. Нерізкість від джерела U виражається формулою

$$U = bd/1,$$

де b - розмір джерела,

d - відстань від об'єкта до джерела,

1 - відстань від об'єкта до детектора.

Коли джерело розміщується поза об'єктом, d і 1 - одного порядку, а нерізкість U одного порядку з b , тобто з розміром джерела. Якщо ж джерело знаходиться всередині об'єкта і впритул наближене до виявлюваного дефекту (в даному випадку - пухлини), то $d \ll 1$, що й пояснює зменшення нерізкості від джерела. Завдяки малому розміру фокусної плями інтегральної лінзи нерізкість додатково зменшується, що в кінцевому підсумку повинно дозволити обійтися меншою кількістю опроміненнь для одержання достатньої точності реконструкції зображення.

Завдяки можливості суміщення фокуса з будь-якою бажаною точкою всередині досліджуваної області може бути значно спрощено процедуру одержання зображення при дослідженні невеликих об'єктів. Наприклад, якщо необхідно дослідити область розміром порядку 1 см^2 в районі легенів, вихідний фокус лінзи можна безпосередньо розмістити поблизу цієї виділеної області. Фокус можна переміщувати в цій області з точністю, рівною розміру фокусної плями лінзи. Якщо, наприклад, фокусна відстань дорівнює 20 см , то при енергії 50 кеВ , коли $\theta_{\text{кр}} \approx 5 \cdot 10^{-4}$ радіан, ця фокусна пляма матиме розмір порядку $0,1 \text{ мм}$.

В показаній на фіг 26 геометрії елемент 40 умовно зображує наявність жорсткого зв'язку між

джерелом 2, інтегральною повною лінзою 2 і детектором 35. При проведенні томографічного дослідження ці три об'єкти повинні брати участь в обертанні відносно засобу для позиціонування пацієнта 39 як одне ціле (можливий і варіант обертання засобу позиціонування разом з пацієнтом при нерухомих джерелі 2, лінзі 1 і детекторі 35).

При використанні інтегральних лінз в променевій терапії, що ілюструється фіг 27 і фіг 28, результат, що досягається, зумовлений їх вищими показниками, якими є як розмір фокусної плями, так і величина фокусної відстані, при якій, за інших рівних умов, забезпечується певний розмір фокусної плями. На фіг 27 показано пристрій для променевої терапії, у якому використовується точкове джерело 2, а на фіг 28 - джерело паралельного випромінювання 16, наприклад вихід атомного реактора або прискорювача, що формують квазі-паралельні пучки теплових чи надтеплових нейтронів. Випромінювання направлено в бік пацієнта 39 і сфокусовано всередині пухлини 41. Поворот нейтронного пучка, що виводиться з реактора, для надання йому напрямку, зручного для використання в пристрої для променевої терапії, може бути здійснено за допомогою лінзи (не обов'язково інтегральної) з криволінійною позадвогнаною віссю.

В променевій терапії серйозною проблемою є забезпечення високої інтенсивності опромінення пухлини у поєднанні з малим опроміненням оточуючих тканин і шкіри. Для цього необхідно, щоб промені перетиналися на пухлині під великими кутами. Чим більші ці кути, тим на більшу площу поверхні шкіри, на більший об'єм оточуючих пухлину тканин розподіляється випромінювання перед тим як досягти пухлини.

Інтегральна лінза як засіб фокусування випромінювання, зокрема описана вище лінза, в якій має місце ефект "притискання" випромінювання до зовнішніх боків стінок каналів, має саме ті властивості, які необхідні для розв'язання цих проблем - вона може забезпечити високу якість фокусування при великому відношенні вихідної апертури до фокусної відстані (остання властивість сприяє тому, щоб промені, що сходяться при фокусуванні, перетиналися під великими кутами).

Для створення великих градієнтів дози на пухлині пропонований пристрій може містити кілька лінз, що опромінюють пухлину з різних позицій. Для додаткового, зменшення дози, отримуваної шкірою, система лінз може бути виконана з можливістю переміщення зі збереженням перетинання створюваних лінзами пучків випромінювання на пухлині.

Проведені експерименти показують, що навіть при невеликих енергіях - близько $25 - 30 \text{ кеВ}$ на глибинах до 5 см доза на пухлині може перевищити дозу на поверхні. В експерименті використовувалися водні фанти товщиною від 1 до 5 см .

Пристрої для літографії, в яких також може бути застосована пропонована інтегральна лінза, схематично подані на фіг 29 і фіг 30.

У першому з них, призначеному для контактної літографії, засіб 43 для розміщення підкладки з резистом розташований безпосередньо поряд із засобом 42 для розміщення маски. Останній роз-

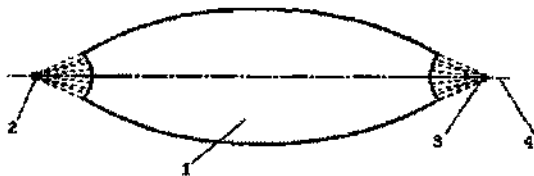
ташований навпроти вихідного торця інтегральної півлінзи 14, що формує квазіпаралельний пучок із розбіжного пучка джерела 2. В даному випадку особливо важливою є однорідність квазіпаралельного пучка, тобто рівномірність інтенсивності випромінювання по його поперечному перерізу. Тому рентгеновська літографія є тією областю, де необхідно використовувати інтегральні лінзи, в яких сублінзи не мають оболонок.

Пристрій для проекційної літографії відрізняється від розглянутого тим, що між засобом 42 для розміщення маски і засобом для розміщення підкладки з резистом установлено "пляшкоподібну" лінзу 16, направлену меншим торцем в бік засобу 43 для розміщення підкладки з резистом. Розмір її більшого торця приблизно дорівнює розміру вихідного торця півлінзи 14. Наявність "пляшкоподібної" лінзи 16, орієнтованої вказаним чином, забезпечує передачу зображення маски на резист зі зменшенням. Ступінь зменшення масштабу зображення визначається співвідношенням вхідного і вихідного діаметрів лінзи. Таку ж величину має відношення діаметрів окремих каналів (капілярів) на вході і виході лінзи. Оскільки це відношення

може бути значно більшим за 1, при використанні пристрою для проекційної літографії можуть бути одержані елементи мікроелектроніки з малими розмірами. Для "пляшкоподібної" лінзи 16, використовуваний в пристрої для проекційної літографії, у ще більшій мірі, ніж для півлінзи 14, важливе виконання сублінз без оболонок.

Промислова застосовність

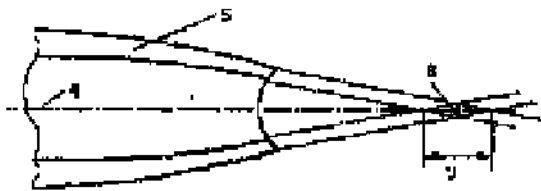
Підбиваючи підсумок викладеному, необхідно додатково підкреслити, що перехід від монолітних лінз [4] і лінз, виконаних у вигляді ансамблю мініатюрних лінз [5], [6], до інтегральних лінз як нового покоління засобів керування випромінюваннями високих енергій не просто забезпечує ріст точнісних показників засобів з використанням таких лінз відповідно до показників самих лінз. В ряді випадків він дозволяє створити прийнятні для практичного використання пристрої (транспортабельні, придатні для герметизації при використанні в умовах агресивних середовищ, такі, що мають прийнятну вартість, і т.д.), перешкодою для чого в минулому були як габаритні, вартісні і т.п. показники самих лінз, так і неможливість використання простих і дешевих джерел випромінювання.



Фіг. 1



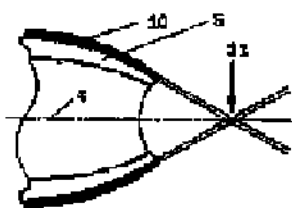
Фіг. 2



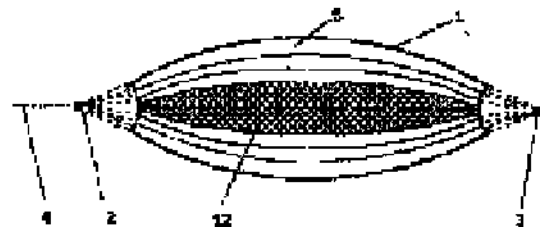
Фіг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6

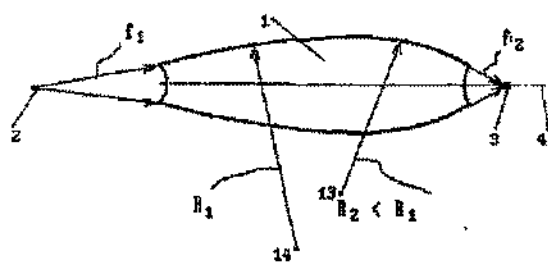


Fig. 7

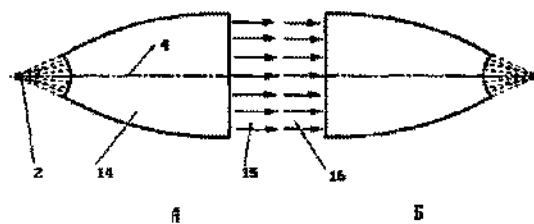


Fig. 8

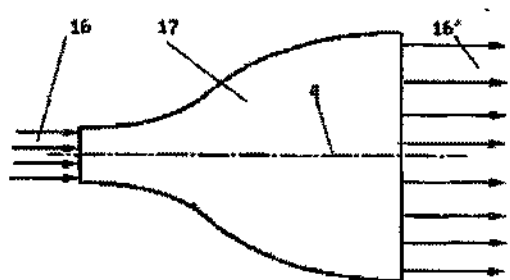


Fig. 9

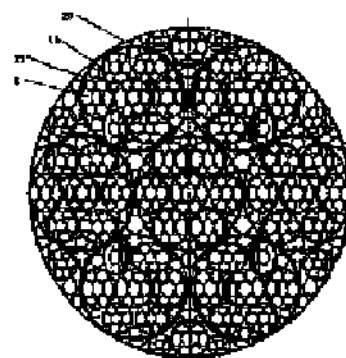


Fig. 10



Fig. 11

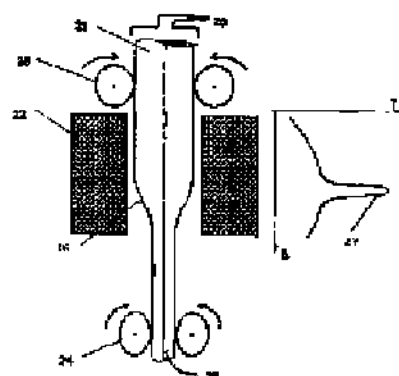


Fig. 12

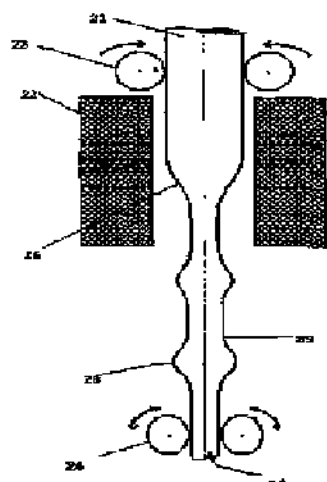


Fig. 13

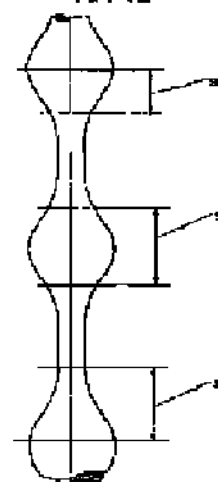


Fig. 14

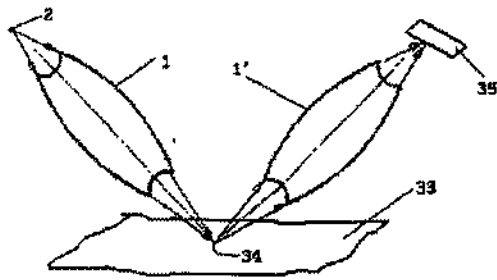


Fig. 15

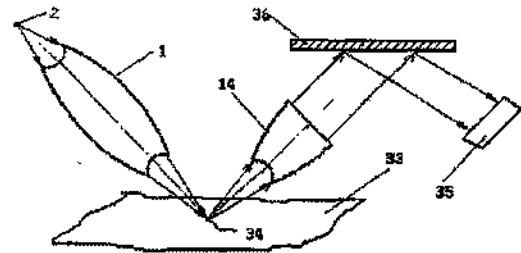


Fig. 16

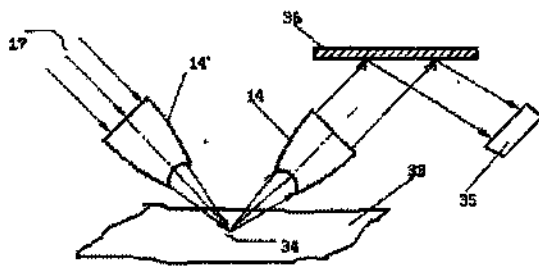


Fig. 17

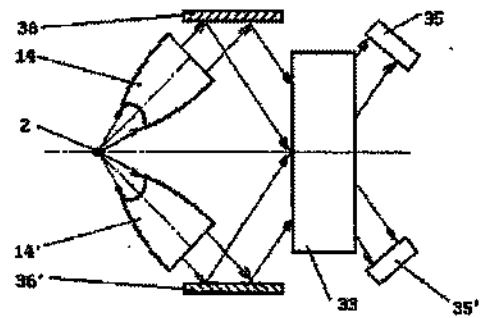


Fig. 18

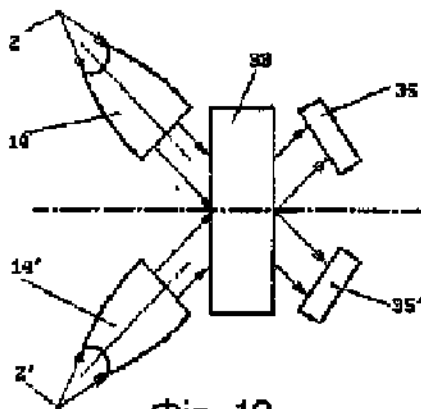


Fig. 19

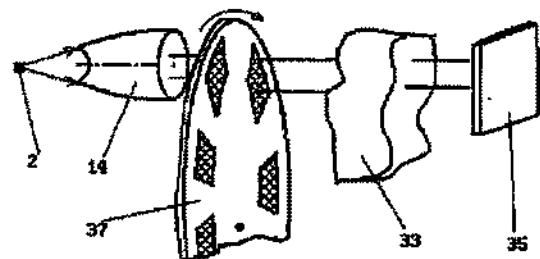


Fig. 20

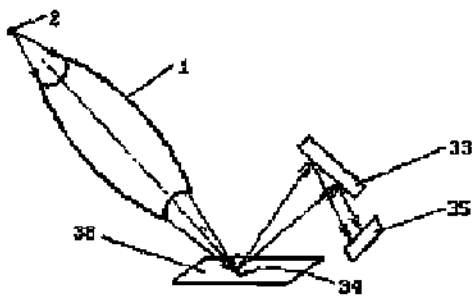
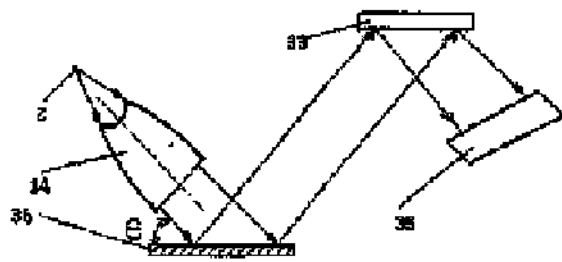


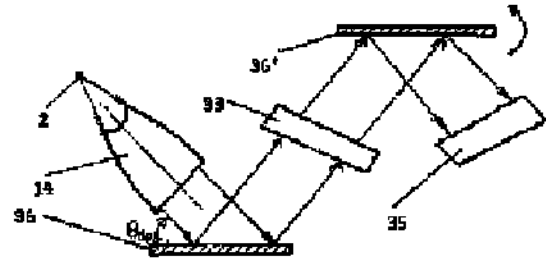
Fig. 21



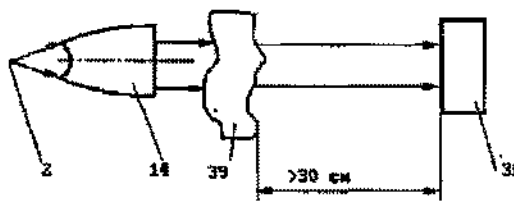
Fig. 22



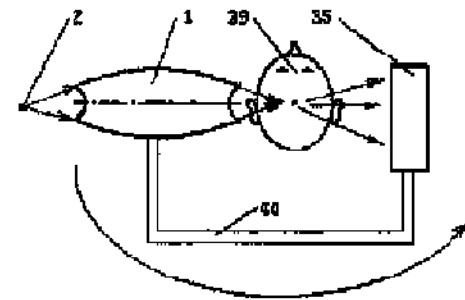
Фиг. 23



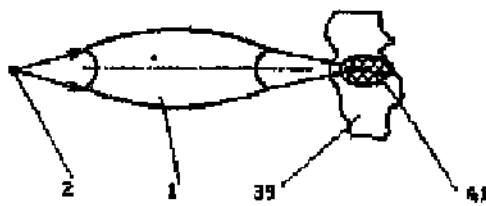
Фиг. 24



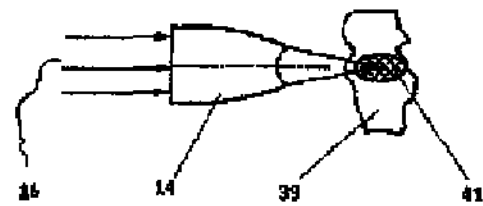
Фиг. 25



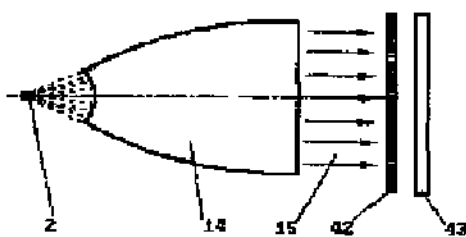
Фиг. 26



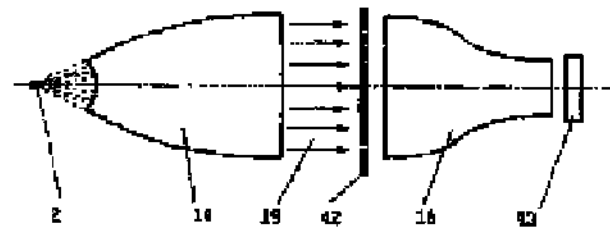
Фиг. 27



Фиг. 28



Фиг. 29



Фиг. 30

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456-20-90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216-32-71