

УДК 620.3

Р.О. Волицький,
Р.Я. Мاستило, канд. техн. наук

ОГЛЯД БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ ФОКУСНОГО СЕНСОРА

Розглянуто стан сучасної фокусної детекції, різні методи принципу фокусування, переваги і недоліки цих методів. Детально проаналізовано принцип роботи фокусного сенсора та його характеристики. Наведено наочний приклад використання фокусного сенсора як нуля-індикатора та переваги його використання над іншими видами сенсорів у нановимірюваннях.

Ключові слова: нановимірювання, фокусний сенсор, інтерферометр, фокусна детекція.

R.O. Volytskyi,
R.J. Mastylo, PhD.

REVIEW OF THE STRUCTURE AND THE PRINCIPLE OF WORK OF THE FOCUS SENSOR

As part of this study was to examine the current state of contemporary focus detection, considered various methods of focusing principle, advantages and disadvantages of these methods. The detailed analysis of the principle of focus sensor and its characteristics. An illustrative example of using the sensor as a focal zero-indicator and its advantages over other types of sensors in nano measurements.

Keywords: nano measurement, focus sensor, interferometer, focal detection.

Р.О. Волицький,
Р.Я. Мاستыло, канд. техн. наук

ОБЗОР СТРОЕНИЯ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ФОКУСНОГО СЕНСОРА

Рассмотрены состояние современной фокусной детекции, различные методы фокусировки, преимущества и недостатки этих методов. Детально проанализированы принцип работы фокусного сенсора и его характеристики. Приведен наглядный пример использования фокусного сенсора в качестве нуля-индикатора и преимущества его использования перед другими видами сенсоров в наноизмерениях.

Ключевые слова: наноизмерения, фокусный сенсор, интерферометр, фокусная детекция.

З бурхливим розвитком нанотехнологій в останні 10–15 років зріс попит на вимірювальні прилади та сенсори для вимірювання наноструктур, які є в субнанометровому діапазоні.

Крім механічного сканування, яке забезпечують атомно-силові мікроскопи або тактильні перетворювачі, оптичні сенсори мають і інші суттєві переваги. Для цієї мети було розроблено оптичний скануючий сенсор у формі фокусного сенсора (фокусенсор).

Принцип фокусної детекції. Є кілька способів, описаних в літературі, щоб виміряти відстань від фокусної відстані вимірювального променя світла (і таким чином відстань до об'єкта) [1]. Деякі з методів досить екзотичні або недоцільні в більшості випадків і були розроблені як функціональні моделі. Насправді, спершу датчики розроблено для точного вимірювання відстані (в мікрометр–діапазоні) і були нащадками зчитувальних

головок дискового програвача компакт-дисків. Попередні спроби реалізації невдались через недостачу потрібних компонентів і великі проектно–конструкторські роботи.

Серйозно обговорюються в літературі та частково реалізовані в приладах метод Фуко, астигматизм, критичний кут, хроматична аберация, світлові ваги, напівбленд.

Кілька років тому були CD – програвачі дисків, які працювали на перших трьох методах. Сьогодні використовується лише метод астигматизму, так як інші методи занадто дорогі в практичній реалізації. У промисловій метрології довгий час застосовувались лише датчики, в основу принципу дії яких покладено модифікований метод Фуко.

Всі методи засновані на геометрично-оптичному принципі детектування: найменше відхилення променя, який відбився від зразка, вловлюється за лінзою об'єктивна і перетворюється у вимірювальний сигнал.

Для того щоб отримати вимірювальний ефект при можливо як найменших розмірах сенсора, ставиться перед детектором лінза, яка має фокусну відстань на площині зображення, коли фокусна відстань вимірювального променя світла точно попадає на площину досліджуваного зразка.

Метод Фуко. В оригінальній версії на місці задньої фокусної відстані розташовується ніж так, що одна половина променя не пропускається. Практично це означає, що половина лінзи прикривається і в спряженій фокусній відстані переноситься на диференційний фотодіод (рис. 1).

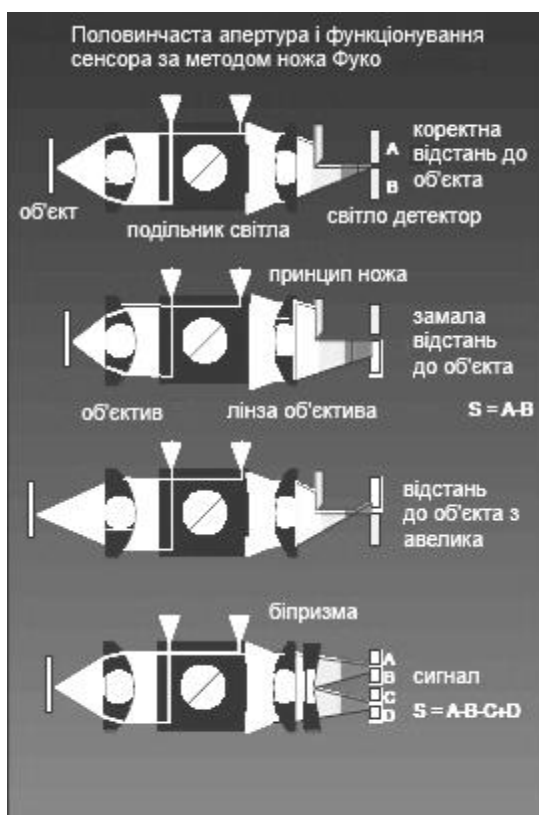


Рис. 1. До методу ножа Фуко [1]

При оптимальному фокусуванні променя світла на поверхні вимірюваного об'єкта дві половини фотодіода будуть рівномірно освітлюватись. Розфокусування на одну або другу сторону спричиняє відхилення променя світла на певну частину фотодіода (дифракційні ефекти не враховуються).

Якщо сенсор виконано з односторонньою блендою, бленда не обов'язково має бути точно розташована, а фотодіоди ма-

ють бути розміщені точно. Бленда замінюється на допелльпризму (призма з двох частин), яка відводить світло від кожної половини апертури на розділену пару фотодіодів. Тоді потреба точного позиціонування на детектори не є такою високою, щоб відкидати похибку юстування у відомих межах (рис. 2). Крім того, отримуємо подвійну світлову ефективність. Перевагою цього методу є велика крутизна характеристики. Недолік є непряма чутливість.

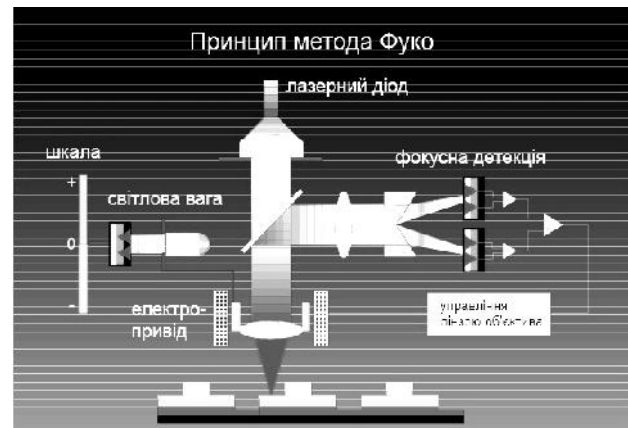


Рис. 2. Принцип методу Фуко [1]

Метод астигматизму. Хоча інші автофокусдетекторні принципи стану дефокусування внаслідок переміщення колімаційного відхилення за об'єктивом в кут повороту і, таким чином, в кінцевому етапі, бокове переміщення фокального зображення вимірюється, отримуємо за допомогою цього методу (рис.3) збільшуючі еліптичні деформації фокального зображення зі збільшенням дефокусування. З цією метою циліндричну лінзу розміщено в кінці ходу променів. Взаємопов'язана з лінзою об'єктива, точка вимірювального пучка світла, як круглий диск, перебуває на 4-частинному фотодіоді, але лише тоді, коли фокусна відстань вимірювального пучка світла знаходиться прямо на вимірювальному об'єкті. Відхилення від цього стану викликає еліптичну деформацію точки зображення. Тому, результуюча напруга регулювання служить для настроювання приводу регулювання лінз. Крутизна і довжина характеристики прямої залежить від проходження оптичного пучка світла.



Рис. 3. Метод астигматизму

Будова і принцип функціонування фокусного сенсора. В інституті Сенсорної техніки технічного університету Ільменау було розроблено нанопозиційну і нановимірювальну машину з межею вимірювання 25x25x5 мм [2]. Висока точність досягається за допомогою лазерно-інтерферометричних вимірювань з роздільною здатністю 0,1 нм. Вимірювання проводяться в усіх трьох напрямках без похибки Аббе першого роду. Для сканування зразків використовуються різноманітні сенсори. Поряд з механічним скануванням, наприклад атомно-силова мікроскопія або тактильні датчики, оптичні сенсори показують деякі переваги. З цієї причини було розроблено оптичний скануючий сенсор, який базується на фокусному принципі і інтегрований в нанопозиційну і нановимірювальну машину – нуль-індикатор [3]. Це означає, що фокусний сенсор (як і відповідно фокусна лінза сенсора) міцно встановлений. Всі процеси вимірювання, мається на увазі рух вимірювального об'єкта в усіх трьох координатах, регулюються через сигнал фокусного сенсора в нанопозиційній і нановимірювальній машині.

Принцип вимірювання. Ядро сенсора – це голограмно-лазерний блок (рис. 4) [4], з традиційної DVD-техніки. На ньому розташовано напівпровідниковий лазерний діод (650 нм, 4,5 мВт), фотодіоди для виявлення помилки фокусування та їх попередніх підсилювачів. Одна маленька голограма прямо перед лазерним блоком бере на себе різноманітні функції розщеплення пучка, його поділу та відхилення. Через цей багатофункціональний елемент стало можливим виготовлення фокусних сенсорів з маленькими габаритами.

Щоб забезпечити мінімальний температурний вплив на фокусний сенсор і точні вимірювання, всі механічні деталі сенсора виготовлено з матеріалу інвар.



Рис. 4. Голограмно-лазерний блок

Принципова будова фокусного сенсора представлена на рис. 5. Для того, щоб відстежувати місце оптичного зондування на поверхні зразка, фокусний сенсор з'єднано з CCD-мікроскопом. Таким чином, пошук потрібного для огляду або вимірювання місця є дуже комфортним. Нижній куб світлоподілу в фокусному сенсорі має бути поляризованим, для того щоб надати вимірюваному об'єкту максимальну потужність лазерного діода і в той же час забезпечити мінімальне втручання на CCD-чіп відбитих променів лазера. Фокус сенсор (як і відповідно голограмно – лазерний блок) працює за принципом поділу ножем (Knife-Edge-Prinzip) [5]. Розроблена автором електроніка фокусного сенсора включає в себе датчик АРП (автоматичного регулювання потужності), схеми для управління лазерним діодом і для створення фокусного сигналу. Типова характеристика фокусного сенсора представлена на рис. 6.



Рис. 5. Принципова будова фокусного сенсора

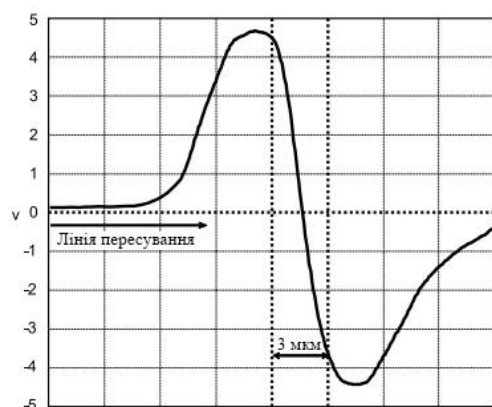


Рис. 6. Характеристика фокусного сенсора

Оптика була розроблена таким чином, що діапазон вимірювань досягає приблизно ± 3 мкм. З використанням АЦП, можлива роздільна здатність точки нуля до 1 нм. Фокусний сенсор інтегрується в нановимірювальну і нанопозиційну машину (рис. 7).

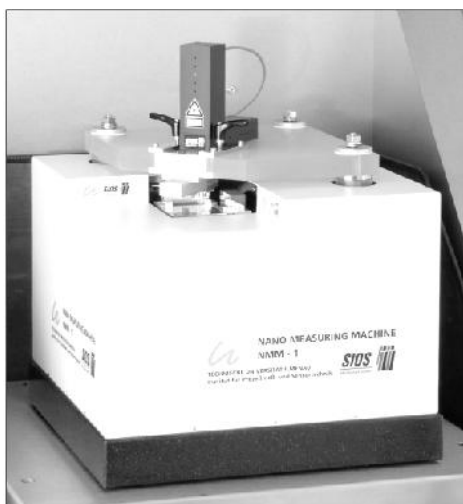


Рис. 7. Нановимірювальна і нанопозиційна машина з фокусним сенсором

У верхній частині вимірювальної машини розміщено плиту з матеріалу церодюр, знизу цієї плити фокусний сенсор, зверху – мікроскоп. Світло до клімакамери було проведено від холодного джерела світла через оптичне волокно для того, щоб на клімакамеру температурний вплив від проведеного світла був мінімальним.

Було запрограмовано і протестовано багато вимірювальних алгоритмів. Для уможливлення пришвидшення динамічних вимірювань фокусний сенсор не постійно встановлюється в «нуль». Більше того, виникає постійний різницевий сигнал між вихідним

сигналом і значенням довжини Z – інтерферометра нанопозиційної і нановимірювальної машини. В цьому випадку вимірювальна машина забезпечує на основі її інерційності низькочастотну частину вимірювального сигналу. Нерегульовані відхилення фокусного сигналу є фактично високочастотною частиною вимірювального сигналу. Таким чином можливі вимірювання в режимі сканування до 2 мм / с з роздільною здатністю до 1 нм. Перевагами різницевого методу вимірювання також є незначна температурна і вібраційна чутливість.

Практична реалізація фокусного сенсора (без мікроскопа) показана на рис. 8.

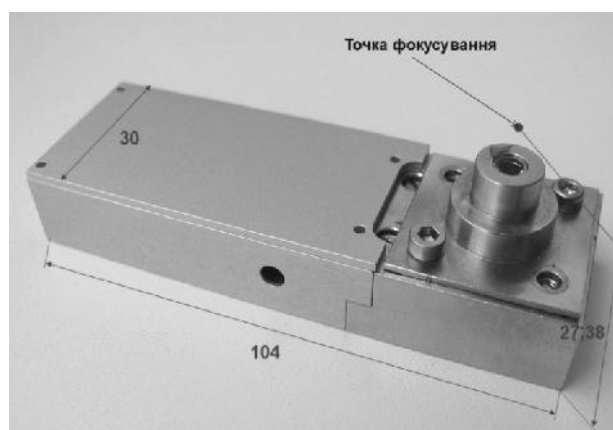


Рис. 8. Фокусний сенсор без мікроскопа

Висновки. Розглянуті методи вимірювання за допомогою оптичних сенсорів показують чітку перевагу перед іншими методами вимірювань у нанометровому діапазоні. Як наслідок цього було розроблено фокусний сенсор з роздільною здатністю менше 1 нм. Вимірювання на каліброваному зразку показали, що невизначеність вимірювання досягає 0,7–2 нм, що вказує на високі перспективи використання фокусного сенсора у нановимірюваннях.

Список використаної літератури

1. <http://breitmeier.de/de/produkte/messanlagen-mit-opt-punktsensor/autofokus/allgemein>
2. Jäger G. Operation and Analysis of a Nanopositioning and Nanomeasuring Machine / G. Jäger, E. Manske, T. Hausotte und W. Schott // Annual Meeting 2002, ASPE, St. Louis, Missouri.

3. Mastylo R. Entwicklung eines Fokussensors und Integration in die Nanopositionier- und Nanomessmaschine, tm – Technisches Messen / R. Mastylo, E. Manske, G. Jäger. Volume 71, Issue: 11–2004. – P.596–602.

4. Yoshida Y. Three beam CD optical pickup using a holographic optical element / Y. Yoshida, R. Mastylo, E. Manske, G. Jäger. – In: Proc. SPIE Vol. 1401 Optical Data Storage Technologies (1990). –P. 58–65.

5. Johnson R. V. Focus error detection in optical data storage systems / R. V. Johnson. – In: Proc. SPIE Vol.200 (1979). – P.73–78.

Отримано 14.05.2012

References

1. <http://breitmeier.de/de/produkte/messanlagen-mit-opt-punktsensor/autofokus/allgemein>.

2. Jäger G. Operation and Analysis of a Nanopositioning and Nanomeasuring Machine / G. Jäger, E. Manske, T. Hausotte und W. Schott // Annual Meeting 2002, ASPE, St. Louis, Missouri [in English].

3. Mastylo R. Entwicklung eines Fokussensors und Integration in die Nanopositionier- und Nanomessmaschine / R. Mastylo, E. Manske, G. Jäge // tm – Technisches Messen, Volume 71, Issue: 11–2004. – P. 596–602 [in English].

4. Yoshida Y. Three beam CD optical pickup using a holographic optical element / Y. Yoshida, T. Miyake, Y. Kurata und T. Ishikawa // In: Proc. SPIE Vol. 1401 Optical Data Storage Technologies (1990). – P. 58–65 [in English].

5. Johnson R. V. Focus error detection in optical data storage systems / R. V. Johnson // In: Proc. SPIE Vol.200 (1979), P.73–78 [in English].



Волицький
Ростислав Орестович,
аспірант каф. інформаційно-
вимірювальних технологій
Нац. ун-та «Львівська полі-
техніка»,
т. 0937926880,
e-mail: rostik@telelan.com.ua



Мастило
Ростислав Ярославович,
наук. співробітник ін-ту ви-
мірювальних процесів та се-
нсорної техніки ун-ту Ільме-
нау (Німеччина),
Gustav-Kirchhoff-Straße 1,
98693 Ilmenau, Germany,
тел.: +49 3677 693442,
e-mail: rostyslav.mastylo@tu-
ilmenau.de