

МЕТОДИ І СИСТЕМИ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

УДК 520.2.06+681.7.015.05

ВИГОТОВЛЕННЯ ГЛИБОКОЇ АСФЕРИКИ ТРАЄКТОРНИМ КОПІЮВАННЯМ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

*Іванов Ю.С., Монсар О.О. Синявський І.І., Головна Астрономічна обсерваторія
Національної академії наук України, м. Київ, України*

В роботі розглядаються питання виготовлення нестандартних оптичних деталей – глибоких еліпсоїдів, що не мають параксимальної області. Оцінені та усунуті похибки, що виникають при траєкторному копіюванні, що дало змогу розробити нескладну технологію виготовлення еліпсоїдів. Приведено приклад застосування таких оптичних елементів

Вступ

Виготовлення асферичної оптики є одною з проблем сучасного оптичного приладобудування, рішення якої забезпечує покращення якості зображення, підвищення оптичних характеристик, зменшення габаритних розмірів та маси оптичних приладів, а також їхньої собівартості.

В теперішній час виконується багато досліджень, направлених на розробку високопродуктивних процесів та способів формування асферичних оптичних поверхонь високої точності та різноманітної форми [1,2], однак ці процеси все ще залишаються складними.

Асферичний профіль поверхні може бути одержаний методом алмазного точіння, однак при цьому переміщення п'єзоприводу, який здійснює асферизацію, обмежене, що технічно не дозволяє виготовляти глибоку асферіку.

Одержання глибокої асферіки можливо траєкторним копіюванням із застосуванням шаблонів [3]. Способи асферизації, пов'язані з траєкторним копіюванням, в кінцевому рахунку зводяться до забезпечення примусового переміщення інструменту по заданій складній траєкторії, яка відповідає профілю перерізу поверхні, що обробляється.

Копіювальний пристрій забезпечує можливість одержання асферичної поверхні довільного профілю. Відомі верстати [3], асферичним шаблоном в яких є кулачок з профілем, який відповідає утворюючій поверхні, що виготовляється. Суттєвим їх недоліком є необхідність виготовлення точних шаблонів або складних механічних пристроїв, помилки яких впливають на похибки отриманих виробів.

Застосування механізмів, складові частини яких здійснюють найпростіші робочі рухи (прямолінійні та обертові), а визначені точки переміщуються по заданих складних траєкторіях, дозволяє в принципі усунути недоліки, пов'язані з необхідністю виготовлення асферичних шаблонів, що зумовлює значне спрощення технології та зменшення похибок. Однак простий важільний копій дає помітну геометричну похибку через неоднаковий повздовжній хід кінців копіювального та виконавчого важелів.

В даній роботі запропоновано метод часткової компенсації похибок, які виникають при траєкторному копіюванні, шляхом розвороту копіювального важелю відносно виконавчого.

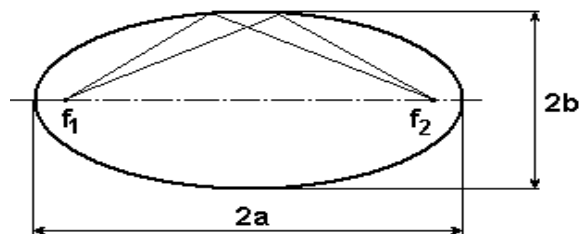
Застосування цього методу на практиці дає змогу виготовлення за спрощеною технологією глибокої дзеркальної асферики (еліпсоїдів), що не має параксильної області.

Постановка задачі

Для концентрації інфрачервоного випромінювання та перенесення зображення з однієї частини оптичної системи в іншу застосовуються різноманітні лінзові або дзеркальні системи та їх комбінації.

Істотним недоліком використання лінзових систем є їхня висока вартість, а також власна здатність до випромінювання в інфрачервоному діапазоні. Дзеркальні системи вільні від цього недоліку, але для таких задач система повинна мати не менше 2 поверхонь, що в свою чергу збільшує загальні габарити, а також зменшує відношення сигнал/шум.

Для оптичних систем, що мають кільцеву апертуру, для перенесення зображення може бути застосований еліпсоїд (рис.1), головна особливість якого, як відомо, полягає в тому, що всі промені, що виходять з фокусу f_1 , збираються в фокусі f_2 .



$2a$ – велика вісь, $2b$ – мала вісь

Рисунок 1 – Еліпсоїд

При використанні такої системи кількість діючих оптичних дзеркальних поверхонь зменшується до 1.

Такі оптичні елементи доволі перспективні, однак їх широке застосування обмежене складністю виготовлення. Технології по виготовленню вказаних оптичних елементів майже відсутні, а існуючі занадто складні, що відбивається в кінцевому результаті на їх вартості.

Тому була поставлена задача по розрахунку параметрів еліпсоїда для конкретної схеми (інтерферометра ГАО), розробленню технології та виготовленню такого оптичного елемента траєкторним копіюванням.

Копір для еліпсоїдів

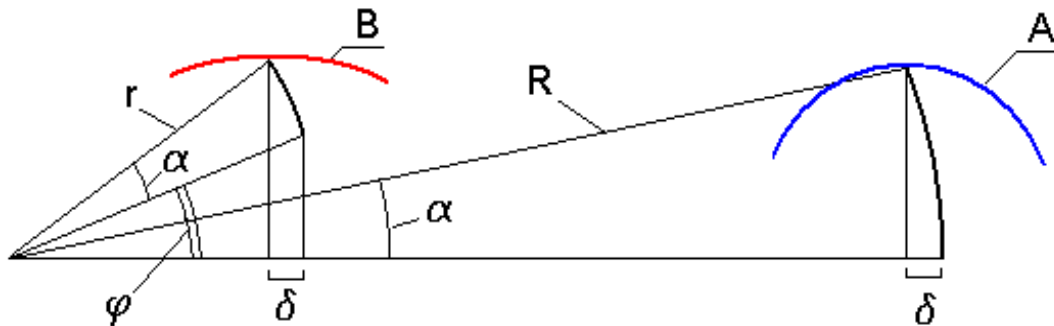
Відомо, що еліпсоїд можна отримати з окружності, стискаючи її по одній координаті, причому інша залишається без зміни (рис. 1). Коефіцієнт стискання дорівнює [4]

$$m = \frac{2b}{2a}, \quad (1)$$

де $2a$, $2b$ – велика та мала вісі еліпса.

Такий спосіб одержання еліпсоїда було застосовано при розробці технології по його виготовленню шляхом траєкторного копіювання вихідної окружності.

Простий важільний копир дає помітну похибку через неоднакове повздовжнє переміщення кінців копіювального та виконавчого важелів. Для часткової компенсації цієї похибки можна розвернути важелі на кут φ (рис.2).



α – робоче відхилення; φ – додатковий розворот; δ – повздовжнє переміщення;
 R - копіювальний важіль; r – виконавчий важіль; A – профіль копіра (окружність);
 B – профіль виробу (глибока асферика)

Рисунок 2 – Схема копіра

Середній масштаб копіювання (коефіцієнт стискання) в першому наближенні можна записати як

$$\bar{m} \approx \frac{r}{R}; \quad (2)$$

де r, R – відповідно довжини виконавчого та копіювального важелів.

Повздовжнє переміщення копіювального важеля

$$\delta = R(1 - \cos\alpha). \quad (3)$$

Повздовжнє переміщення виконавчого важеля

$$\delta = r(\cos\varphi - \cos(\alpha + \varphi)). \quad (4)$$

Враховуючи (3) та (4), після перетворень запишемо вираз (2) в наступному вигляді:

$$\frac{1}{\bar{m}} = \cos\varphi + \sin\varphi \frac{\sin\alpha}{1 - \cos\alpha}. \quad (5)$$

В першому наближенні, при малих α (коли $\cos\alpha \approx 1, \sin\alpha \approx \alpha$), вираз для кута розвороту виконавчого та копіювального важелів має вигляд

$$\varphi = \frac{\alpha}{2} \left(\frac{1}{\bar{m}} - 1 \right). \quad (6)$$

При великих φ треба враховувати залежність $\bar{m}(\alpha, \varphi)$, при цьому уточнена формула,

де \bar{m} - заданий масштаб, та $\bar{m} \neq \frac{r}{R}$:

$$\frac{1}{\bar{m}} = \left(\cos\varphi + \sin\varphi \frac{\sin\alpha}{1 - \cos\alpha} \right) \frac{\cos\frac{\alpha}{2}}{\cos\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)}; \quad (7)$$

звідки середній масштаб копіювання:

$$\frac{r}{m} = \frac{r \cos\left(\varphi - \frac{\alpha_{\max}}{2}\right)}{R \cos \frac{\alpha_{\max}}{2}}. \quad (8)$$

З виразів, які наведено вище, задаючись коефіцієнтом стискання (1) та кутом робочого відхилення α , можна знайти конструктивні параметри для розробки копіювального пристрою.

Аналіз розрахунків показав, що визначення кута розвороту φ при малих робочих відхиленнях α можна проводити по (6) (при цьому відносна помилка складає менше 0.005%), а при $\alpha > 1^\circ$ значення треба уточнювати згідно (8).

Виготовлення та застосування

Базуючись на отриманих відношеннях, було розроблено нескладну конструкцію копіювального механізму, що встановлюється на високоточному токарному верстаті.

При траєкторному копіюванні необхідний асферичний профіль поверхні одержується шляхом зняття зайвого слою матеріалу з заготовки при її обертовому русі різальним інструментом з гострим різальним лезом, під час його повздовжнього переміщення. Подальший етап виготовлення – полірування одержаної поверхні алмазними пастами за допомогою повстяних полірувальників. Як показує досвід, найкраща чистота оптичних поверхонь деталей досягається при застосуванні дрібнодисперсних однорідних сплавів В95, АМГ6, Д16Т.

Еліпсоїди знайшли своє використання в фур'є-спектрометрі Головної астрономічної обсерваторії НАНУ, основу якого складає інтерферометр, виконаний за схемою “подвійне котяче око”, що має кільцеву апертуру, а також і в інших інтерферометрах такого типу [5]. Вони застосовуються як оптичні елементи для перенесення зображення з виходу інтерферометра в площину приймача випромінювання.

З використанням таких еліпсоїдів було модернізовано оптичну схему інтерферометру для проведення вимірювань забруднення приземних шарів атмосфери (рис.3), в якій до цього часу застосовувався фокон [6].

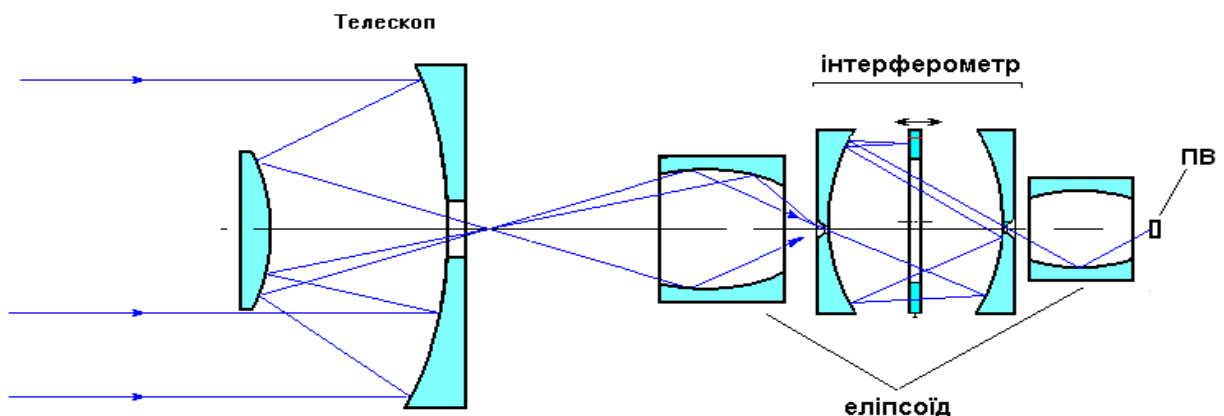


Рисунок 3 – Модернізована оптична схема інтерферометру

Висновки

1. Показана можливість застосування нетрадиційних оптичних елементів, що не мають параксіальної області (еліпсоїдів), для перенесення зображення та концентрації інфрачервоного випромінювання.

2. Запропонована технологія виготовлення таких елементів проста та доступна, забезпечує достатньо високі оптичні характеристики. Пляма розсіювання може мати діаметр не більше 150 мкм.

3. Подібні елементи замінюють складні оптичні блоки. Це спрощує оптичну схему та конструкцію при підвищенні співвідношення сигнал/шум.

4. Подальшою перспективою цього напрямку може бути виготовлення довільної асферики з використанням шаблонів.

Роботу виконано при підтримці гранту NN43 UNTC.

Література

1. Л.В. Попов, С.В. Любарский, В.Г. Соболев, С.Е. Шевцов. Алмазное точение в производстве оптических деталей // Оптико - механическая промышленность. – 1990.- №11.-С. 12- 17.
2. Л.В. Попов, Э.И. Шепурев. Асферизация оптических поверхностей методом репликации // Оптико - механическая промышленность.- 1990.- №11.- С. 24- 26.
3. Заказнов Н.П., Горелик В.В. Изготовление асферической оптики.- М.: Машиностроение, 1978- 248 с.
4. Г Корн, Т.Корн. Справочник по математике. - М.: Наука, 1978.-832 с.
5. Т.Б.Ежевская, А.М. Власов, А.В. Бубликов. Инфракрасный Фурье-спектрометр “Инфралюм ФТ-801” // Наука – Производству.- 2001.-№12.-С.38-41.
6. Иванов Ю.С., Монсар О.А., Синявський І.І. Розрахунок та виготовлення вхідної дзеркальної асферичної оптики для ІЧ- приладу // Вісник НТУУ “КПІ” Приладобудування .- 2003.- Випуск 25.- С.53-57.

<p>Иванов Ю.С., Монсар О.А., Синявский И.И. Изготовление глубокой асферики траекторным копированием и ее применение. В статье рассматриваются вопросы изготовления нестандартных оптических деталей – глубоких эллипсоидов, которые не имеют параксиальной области. Оценены и устранены погрешности, возникающие при траекторном копировании, что дало возможность разработать несложную технологию изготовления. Приведен пример использования таких оптических элементов.</p>	<p>Ivanov Yu. S., Monsar O.A., Sinyavskiy I.I. Fabrication deep aspheric by trajectory copying and its applying. In an article the problems of fabrication of nonstandard optical parts - deep ellipsoids which one have no paraxial field are esteemed. The inaccuracies which arise at trajectory copying are estimated and removed It has allowed to design not composite production process. The example of usage of such optical member is reduced.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Надійшло до редакції
20 квітня 2004 року*