

Thiết kế và chế tạo cách tử 2D dùng trong hệ thống đo lường đa chiều

Lê Vũ Nam*, Mai Nguyệt Công

Viện Vật lý kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: lvnam185@gmail.com

Nhận bài: 10/8/2022; Hoàn thiện: 16/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.138-145>

TÓM TẮT

Cách tử 2D bước dài có rất nhiều ứng dụng quan trọng, đặc biệt trong hệ thống đo lường chính xác. Phương pháp vân giao thoa và khắc bằng tia ion truyền thống khi chế tạo loại cách tử này còn gặp vấn đề về hệ thống phơi sáng. Bài báo này trình bày quy trình từ nghiên cứu đến thiết kế, chế tạo một loại cách tử 2D có bước 5 μm để sử dụng trong một hệ thống đo lường đa chiều. Trong đó, căn cứ yêu cầu sử dụng, trình độ gia công và sử dụng phần mềm ETA để thiết kế, lựa chọn ra tham số chi tiết cách tử. Lựa chọn một hệ thống phơi sáng mới để giải quyết vấn đề các hệ thống cũ gặp phải khi chế tạo cách tử bước dài. Thông qua phân tích và tính toán để điều chỉnh hệ thống, tối ưu quang sai giao thoa để tối ưu sai số đường cách tử. Từ đó, chúng tôi đã hoàn thành việc thiết kế và chế tạo ra một cách tử 2D với sai số đường cách tử đạt tới 0,03 λ trong phạm vi 65 mm \times 65 mm, các thông số đều đảm bảo yêu cầu.

Từ khoá: Cách tử 2D; Đo lường chính xác; Gia công chính xác.

1. MỞ ĐẦU

Cách tử quang học 2D (gọi tắt là cách tử 2D hoặc cách tử) là một loại linh kiện quang học được sử dụng phổ biến trong cơ khí chính xác cũng như các lĩnh vực kỹ thuật yêu cầu độ chính xác cao. Cách tử thường có dạng tấm mỏng và trên bề mặt có khắc các ma trận chi tiết với chu kỳ từ hàng trăm nm đến hàng chục μm , theo hai hướng khác nhau (chu kỳ này được gọi là bước của cách tử). Do có đặc điểm cấu tạo này mà cách tử có một đặc tính quan trọng đó là nhiễu xạ ánh sáng, có thể tách một tia sáng thành nhiều tia. Nhờ đó, nó có thể được ứng dụng trong các hệ thống đo lường chính xác, hệ thống phân tích quang phổ hoặc trong hệ thống làm lạnh nguyên tử,... [1-8].

Đo lường chính xác là một kỹ thuật được các nước phát triển trên thế giới đặc biệt chú trọng, có vai trò quyết định đối với sự phát triển của nhiều lĩnh vực công nghệ cao như gia công chính xác, chế tạo chính xác,... [7-10]. Hiện nay đã có rất nhiều hệ thống đo lường sử dụng cách tử 2D làm trọng tâm và đạt được nhiều ưu thế vượt trội so với các phương pháp truyền thống. Nguyên lý hoạt động cơ bản của hệ thống đo lường dựa trên cách tử 2D là dựa trên đo đặc pha giao thoa của các tia nhiễu xạ tạo bởi cách tử để tính toán ra khoảng cách dịch chuyển hoặc góc xoay của mục tiêu. Mỗi hệ thống đều có những đặc trưng riêng với kết cấu hệ thống và nguyên lý khác nhau rõ rệt [1-4,11-13]. Những hệ thống này đều có thể đo được độ dịch chuyển trên không gian ba chiều hoặc cả độ dịch chuyển và góc xoay. Trong các hệ thống này thì cách tử đều có đặc điểm chung là bước cách tử tương đối dài, lớn hơn 1 μm , đồng thời đều có yêu cầu rất cao với độ chính xác của đường cách tử. Trong bài báo này, chúng tôi cần tiến hành nghiên cứu và chế tạo một loại cách tử 2D với các chỉ tiêu kỹ thuật đảm bảo để sử dụng trong một hệ thống đo lường 6 độ tự do dựa trên gương mục tiêu lăng kính-cách tử (Trong phần 2 chúng tôi sẽ giới thiệu cụ thể hơn về hệ thống này).

Hiện nay, phương pháp chế tạo cách tử bằng vân giao thoa và khắc bằng tia ion được sử dụng khá rộng rãi để chế tạo cách tử với độ chính xác của đường cách tử cao [14-16]. Tuy vậy, các hệ thống phơi sáng truyền thống chỉ thích hợp để chế tạo cách tử có bước ngắn hơn 1 μm , và sẽ gặp vấn đề về lắp đặt hệ thống cũng như chất lượng phơi sáng khi chế tạo các cách tử có bước dài dùng trong đo lường. Đồng thời, tối ưu hóa sai số đường cách tử cũng là một vấn đề quan trọng,

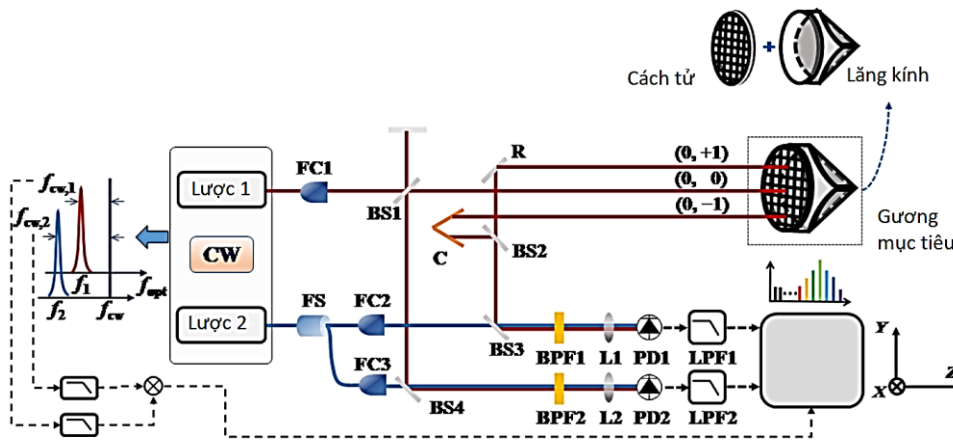
có tính đặc thù riêng gắn với từng hệ thống phơi sáng khác nhau và cần nghiên cứu giải quyết. Như vậy, vấn đề cần phải đối mặt trong bài báo này là cần sử dụng một hệ thống phơi sáng phù hợp để chế tạo ra loại cách tử 2D bước dài, điều chỉnh để cách tử có sai số đường cách tử đủ nhỏ, hiệu suất các tia nhiễu xạ đủ lớn để sử dụng trong hệ thống đo lường 6 độ tự do đã nêu trên.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO CÁCH TỬ

2.1. Cơ sở lý thuyết

2.1.1. Yêu cầu thông số kỹ thuật của cách tử

Hình 1 là sơ đồ nguyên lý làm việc của hệ thống đo lường 6 độ tự do dựa trên gương mục tiêu lăng kính-cách tử (gọi tắt là hệ thống đo lường đa chiều) [17]. Một bộ phận có vai trò quyết định với nguyên lý làm việc của hệ thống này đó là gương mục tiêu lăng kính-cách tử, được tạo ra bằng cách gắn một cách tử 2D với một lăng kính góc vuông. Thông qua đo đạc các thông số độ lệch pha của 5 tia phản hồi lại của gương mục tiêu chúng ta có thể tính được độ dịch chuyển và góc xoay của gương này. Hệ thống này có thể đưa ra kết quả đo với độ chính xác cao trên phạm vi đo xa. Căn cứ vào nguyên lý hoạt động, cũng như các yêu cầu sử dụng của hệ thống đo lường này chúng tôi đưa ra các yêu cầu về thông số kỹ thuật đối với cách tử, bao gồm yêu cầu về bước cách tử, sai số đường cách tử và hệ số nhiễu xạ của các tia nhiễu xạ.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý làm việc của hệ thống đo lường đa chiều dựa trên cách tử 2D [17].

Cách tử 2D này là cách tử loại thấu xạ, được dùng cho bước sóng 1.550 nm, do đó cần lựa chọn vật liệu để cách tử có hệ số thấu xạ cao ứng với bước sóng này. Căn cứ yêu cầu của hệ thống, cụ thể là góc nhiễu xạ của các chùm tia nhiễu xạ bậc 1, tính toán và lựa chọn được bước của cách tử là 5 μm. Yêu cầu kích thước để cách tử là 100 mm × 100 mm, phạm vi làm việc là 50 mm × 50 mm, trong phạm vi này sai số đường cách tử phải nhỏ hơn 0,05 λ. Để nâng cao tỉ lệ tín hiệu, yêu cầu cách tử trong điều kiện làm việc phải có năng lượng của tia thấu xạ bậc 0 và 4 tia bậc 1 là lớn nhất có thể và có giá trị gần bằng nhau nhất. Ngoài ra, để phù hợp với yêu cầu làm việc của hệ thống đo lường này, hai hướng chu kỳ của cách tử phải vuông góc với nhau.

Tóm lại, các thông số kỹ thuật cần đạt được của cách tử gồm:

a) Thông số chính:

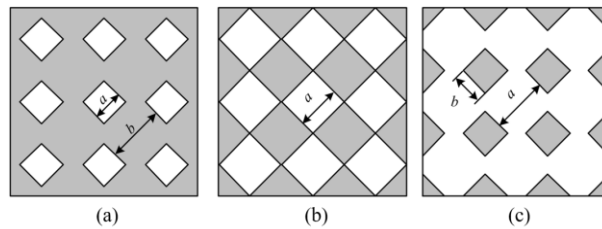
- + Cách tử dạng thấu xạ có bước là 5 μm, kích thước phạm vi làm việc là 50 mm × 50 mm;
- + Trong phạm vi làm việc, sai số đường cách tử nhỏ hơn 0,05 λ.

b) Thông số phụ:

- + Năng lượng tia tới tập trung tối đa vào tia thấu xạ bậc 0 và 4 tia bậc 1, đồng thời năng lượng phân bố đều nhau nhất có thể.

2.1.2. Tính toán, thiết kế tham số cách tử

Việc tính toán và thiết kế cách tử được thực hiện trước khi tiến hành chế tạo cách tử, là cơ sở tiền đề cho quá trình chế tạo, một kết quả thiết kế tốt là điều kiện cần để chế tạo tốt một cách tử. Khi thiết kế, căn cứ vào yêu cầu về loại cách tử, thông số kỹ thuật và các điều kiện làm việc khác, sử dụng phần mềm mô phỏng, tính toán và tối ưu hóa các tham số kỹ thuật của cách tử (chủ yếu của chi tiết cách tử), để cách tử có thể đạt được các thông số sử dụng như mong muốn. Ở đây, cách tử chúng tôi thiết kế có chi tiết cách tử hình lăng trụ, với hình chiếu phủ là một trong ba dạng như trong hình 2. Ở đây có 2 tham số kỹ thuật cần kiểm soát, đó là độ cao và độ chiếm (phản ánh độ rộng cạnh của hình chiếu phủ) của chi tiết [14].

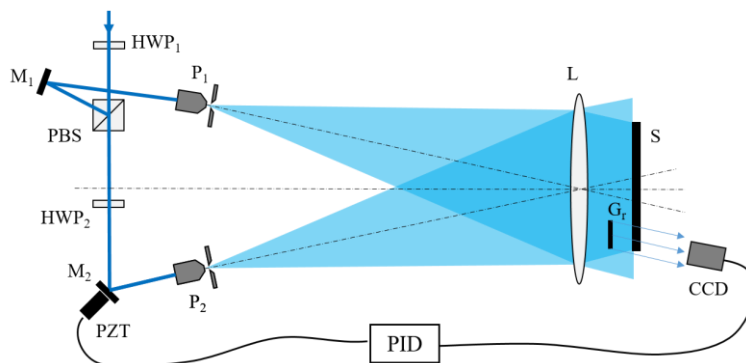


Hình 2. Hình chiếu phủ của chi tiết cách tử 2D dạng lăng trụ.

Nguyên lý mô phỏng, tính toán cách tử dựa trên lý thuyết về nhiễu xạ ánh sáng và cần được thực hiện trên các phần mềm chuyên dụng, ngoài ra trong quá trình sử dụng phần mềm cũng cần phải lập trình câu lệnh, đòi hỏi nắm chắc về các thông số cũng như cần có kinh nghiệm trong việc thiết kế. Ở đây, chúng tôi sử dụng phần mềm ETA để thiết kế cách tử, đây là một phần mềm thiết kế cách tử có hiệu quả khá tốt, được viết ra bởi giáo sư Li Li Feng của Phòng thí nghiệm Quang điện tử, trường Đại học Thanh Hoa, Trung Quốc [18]. Sau khi nhập các tham số đã có sẵn như điều kiện làm việc, bước cách tử, vật liệu đế cách tử,... vào phần mềm, nó sẽ mô phỏng quá trình hoạt động của cách tử và tính toán ra hiệu suất nhiễu xạ tương ứng với từng giá trị tham số của chi tiết cách tử, từ đó người dùng có thể căn cứ vào yêu cầu để chọn ra tham số chi tiết phù hợp.

2.1.3. Lựa chọn hệ thống phối sáng và điều chỉnh tối ưu sai số đường cách tử

Như đã trình bày ở mục Mở đầu, các hệ thống phối sáng truyền thống dùng trong quá trình chế tạo cách tử quang học hiện nay không thích hợp với việc chế tạo cách tử có bước là 5 μm , do đó cần lựa chọn 1 hệ thống phù hợp hơn. Trên cơ sở cấu trúc của các hệ thống phối sáng truyền thống, chúng tôi đã cải tiến và đề xuất 1 hệ thống phối sáng mới đặt tên “Hệ thống phối sáng đồng thấu kính nguồn sáng kép”, cấu tạo như trong hình 3[19].

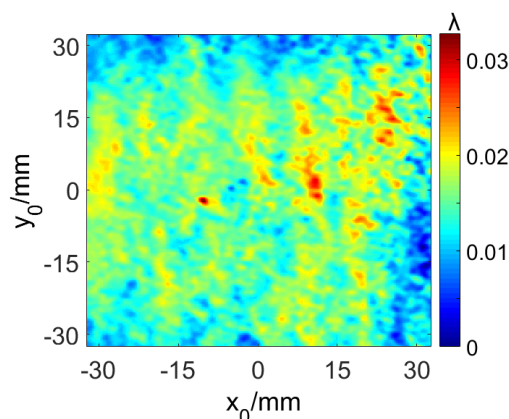


Hình 3. Hệ thống phối sáng đồng thấu kính nguồn sáng kép[19].

Trong hình trên, tia laser từ nguồn sẽ được lăng kính phân cực PBS tách ra làm hai tia và đi đến các gương M_1 và M_2 , sau đó điều chỉnh, khuếch đại và lọc bởi lỗ kim P_1 , P_2 để cùng đi qua

một thấu kính L, chúng sẽ giao thoa trên mặt đế cách tử S ở phía sau thấu kính để hình thành vân giao thoa phơi sáng cách tử. Do đặc điểm hai chùm giao thoa chỉ sử dụng chung một thấu kính nên hệ thống này rất dễ tạo ra góc giao thoa hẹp, từ đó có thể dễ dàng chế tạo cách tử bước dài. Hệ thống có kết cấu gọn sử dụng ít linh kiện, ổn định trong quá trình phơi sáng.

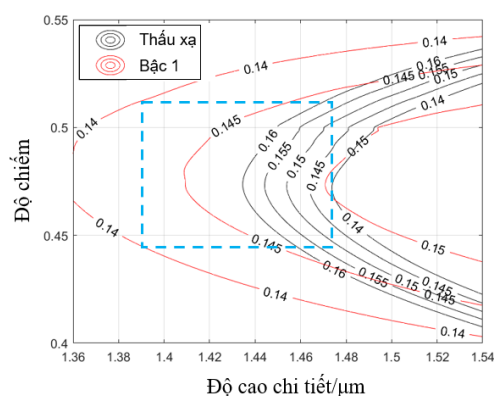
Chúng tôi cũng đã tiến hành việc điều chỉnh hệ thống để tối ưu hóa quang sai giao thoa. Thông qua phân tích mối quan hệ giữa quang sai giao thoa và vị trí các lỗ kim trong hệ thống phơi sáng, chúng tôi tìm ra mối liên hệ của chúng, từ đó tiến hành điều chỉnh vị trí lỗ kim để giảm thiểu tối đa quang sai giao thoa. Thí nghiệm đạt được kết quả tốt, phù hợp với lý thuyết, cách tử được tạo ra có sai số đường cách tử đủ nhỏ để đáp ứng yêu cầu. Hình 4 là phân bố sai số đường cách tử trên phạm vi 65 mm × 65 mm của cách tử được tạo ra, có thể thấy sai số là khoảng 0,03 λ, chứng tỏ hệ thống này hoàn toàn đảm bảo yêu cầu.



Hình 4. Phân bố sai số đường cách tử trên bề mặt cách tử sau khi đã được tối ưu.

2.2. Chuẩn bị chế tạo

2.2.1. Lựa chọn kết quả thiết kế cách tử



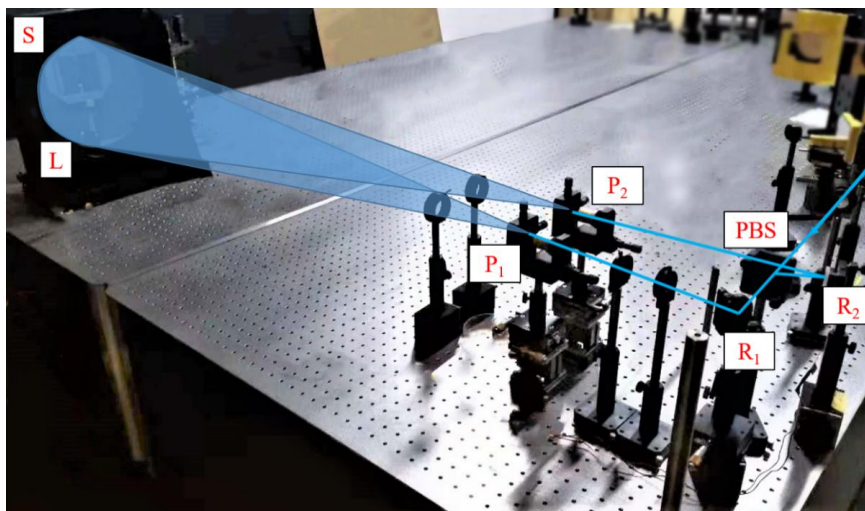
Hình 5. Kết quả mô phỏng thông số kỹ thuật của cách tử.

Trên cơ sở kết quả mô phỏng của phần mềm thiết kế cách tử, căn cứ vào trình độ gia công thực tế hiện nay, chúng tôi chọn ra kết quả mô phỏng của tham số cách tử như trong hình 5. Trong hình, trục hoành là độ cao chi tiết cách tử (cũng là độ sâu mà chúng ta sẽ khắc), trục tung là độ chiếm của chi tiết, hai tham số này chúng ta đều có thể kiểm soát trong các công đoạn trong quá trình chế tạo. Các đường đồng mức màu đỏ là để chỉ hiệu suất nhiễu xạ của 4 tia bậc 1, đường màu đen để chỉ hiệu suất của tia thấu xạ bậc 0, chúng tôi chọn ra khu vực phía trong hình chữ nhật màu xanh dương là khu vực cho kết quả đảm bảo yêu cầu. Trong khu vực này, phạm vi

của độ cao chi tiết là từ 1,390 μm -1,475 μm , phạm vi của độ chiếm là từ 0,44-0,52, lúc này hiệu suất các tia gần đều nhau và đạt tới khoảng 14 %.

2.2.2. Lắp đặt hệ thống phơi sáng, chuẩn bị thiết bị, nguyên vật liệu

Hệ thống phơi sáng đồng thấu kính nguồn sáng kép đã được lắp đặt dựa theo sơ đồ thiết kế ở trên và dùng để phơi sáng chế tạo cách tử. Hệ thống lắp đặt xong có bố cục như trong hình 6, trong đó L là thấu kính, S là đế cách tử (đặt phía sau thấu kính), P_1 , P_2 là 2 lỗ kim lọc tia laze, R_1 , R_2 là hai gương phản xạ, PBS là lăng kính phân cực. Thấu kính L được sử dụng là thấu kính có một mặt phi cầu để hạn chế quang sai của chùm tia chuẩn trực, có khẩu độ là 300 mm, tiêu cự khoảng 1,4 m, tổng chiều dài của hệ thống phơi sáng là 2 m, rộng 0,5 m. Tia laze được sử dụng có bước sóng là 413 nm, do đó góc giao thoa tương ứng là $2,37^\circ$.



Hình 6. Hệ thống phơi sáng cách tử đã được lắp đặt.

Bên cạnh đó, chúng tôi còn chuẩn bị đế cách tử làm từ thủy tinh SiO_2 , thủy tinh vừa đảm bảo các yêu cầu về sử dụng đồng thời có giá thành rẻ, dễ gia công. Chuẩn bị các thiết bị để thực hiện các công đoạn chế tạo cách tử như máy phủ lớp cảm quang, bề ăn mòn, máy khắc bằng chùm tia ion,... Các loại vật tư như chất cảm quang, dung dịch ăn mòn, các loại khí Ar, N_2 (để cung cấp cho máy khắc ion), các loại axit để tẩy rửa cách tử cũng đều được chuẩn bị đầy đủ trước khi quá trình chế tạo bắt đầu.

3. QUÁ TRÌNH CHẾ TẠO, KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Quá trình chế tạo cách tử

Sau khi thiết kế xong cách tử và làm xong các công tác chuẩn bị chúng tôi tiến hành chế tạo cách tử. Quy trình chế tạo tuân theo quy trình chế tạo cách tử 2D thông thường, một số công đoạn không có gì đặc biệt hoặc không cần nhấn mạnh sẽ không trình bày cụ thể ở đây. Khái quát các bước chính của quá trình chế tạo như sau:

1) Chuẩn bị đế cách tử: Sau khi gia công đế cách tử đạt kích thước và độ nhẵn theo yêu cầu, tiến hành làm sạch mặt đế để đảm bảo độ sạch sẽ phục vụ cho các công đoạn về sau;

2) Phủ lớp cảm quang: Một lớp cảm quang mỏng khoảng 1 μm được phủ lên bề mặt tấm đế, quá trình phủ phải đảm bảo để lớp cảm quang được dàn đều toàn bề mặt và có độ kết dính chắc chắn với mặt đế.

3) Phơi sáng: Sử dụng hệ thống phơi sáng đã lắp đặt tiến hành phơi sáng bề mặt cách tử đã phủ lớp cảm quang, lớp cảm quang sẽ ghi lại hình ảnh của vân giao thoa, và tính chất hóa học lớp cảm quang bị phơi sáng sẽ bị thay đổi.

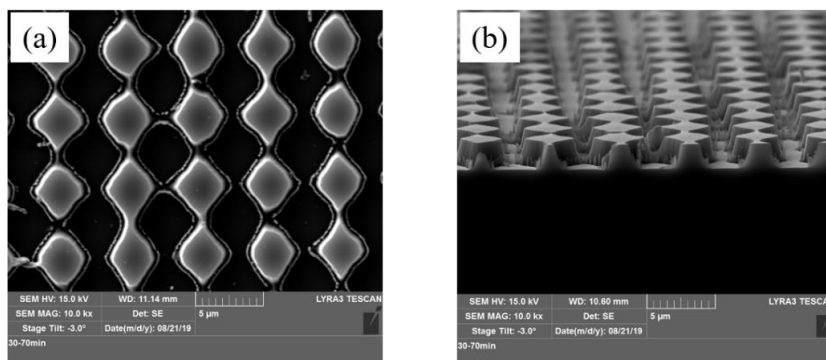
4) Quá trình ăn mòn: Do phơi sáng làm thay đổi tính chất lớp cảm quang dẫn đến chúng dễ bị ăn mòn trong dung dịch ăn mòn, chúng ta có thể loại bỏ những phần được phơi sáng, giữ lại những phần chưa bị phơi sáng, từ đó hình thành hình dạng của vân giao thoa ở dạng lập thể, đây như một lớp mặt nạ bảo vệ mặt đế và là cơ sở để khắc cách tử.

5) Khắc bằng tia ion: Sau khi thu được lớp mặt nạ cảm quang, sử dụng chùm tia ion bắn trực tiếp vào bề mặt lớp cảm quang, do tác dụng bảo vệ của lớp mặt nạ cảm quang để từ đó in hình ảnh của nó lên bề mặt đế cách tử, hình thành cấu trúc chi tiết cách tử.

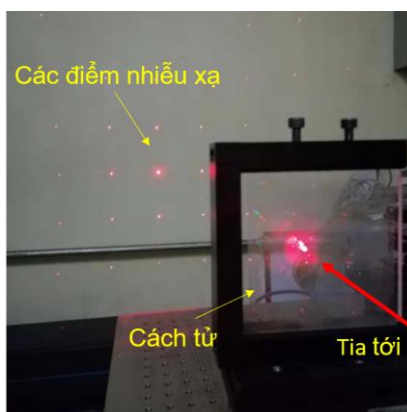
6) Làm sạch, tẩy rửa: Sử dụng dung dịch axit đậm đặc để tẩy rửa cách tử sau khi gia công để loại bỏ các tạp chất, cặn còn đọng lại.

3.2. Kết quả và kiểm nghiệm

Sau quá trình chế tạo, chúng tôi thu được cách tử với bước 5 μm , sai số đường cách tử trên toàn bề mặt là 0,03 λ , các thông số về chi tiết cách tử là độ cao chi tiết đạt 1560 nm, độ chiếm đạt 0,4, gần với giá trị thiết kế. Lúc này, tiến hành đo kiểm nghiệm hiệu suất nhiễu xạ các tia như sau: Tia thấu xạ bậc 0 đạt 15 %, 4 tia nhiễu xạ bậc 1 đạt 11 %. Sử dụng kính hiển vi điện tử chụp bề mặt chi tiết cách tử cho kết quả như hình 7. Hình 8 là hình ảnh chụp bao quát ngoại quan của cách tử và các tia nhiễu xạ của nó khi có một chùm tia laze đỏ chiếu vuông góc vào.



Hình 7. Cấu tạo chi tiết bề mặt cách tử chụp dưới kính hiển vi điện tử (Phóng đại 10.000 X).



Hình 8. Ngoại quan và hiệu ứng nhiễu xạ của cách tử.

3.3. Thảo luận

Thông qua trình nghiên cứu, thiết kế và chế tạo, chúng tôi đã chế tạo thành công một cách tử 2D với tham số đảm bảo yêu cầu bằng phương pháp vân giao thoa và khắc bằng tia ion. Cách tử có sai số đường cách tử rất nhỏ so với các loại cách tử bước dài trước đây. Các phương pháp khắc bằng lưỡi dao cơ khí truyền thống đều không thể đạt đến được độ chính xác như vậy, và

nếu đem so sánh với phương pháp chế tạo cách tử thông qua khắc trực tiếp bằng tia laze thì phương pháp chúng tôi sử dụng có giá thành chế tạo thấp hơn nhiều, phạm vi ứng dụng cũng rộng rãi hơn.

Tuy vậy, một thông số phụ đó là giá trị hiệu suất nhiễu xạ của các tia còn sai lệch so với giá trị thiết kế. Lý giải cho vấn đề này có thể do các nguyên nhân sau: a) Khi thiết kế chúng ta lựa chọn hình dạng của chi tiết cách tử là lăng trụ, tuy nhiên như kết quả chụp của kính hiển vi điện tử trong hình 7 có thể thấy được cấu trúc chi tiết thực tế khác khá nhiều so với lý thuyết, các chi tiết cũng không đồng đều nhau, điều này ảnh hưởng rất nhiều đến hiệu suất nhiễu xạ của cách tử, làm cho kết quả không như thiết kế; b) Các yếu tố như sự hấp thụ năng lượng của tấm đế cách tử, tán xạ do các cấu trúc nhỏ trên bề mặt cách tử dù nhỏ nhưng cũng sẽ làm giảm đi hiệu suất nhiễu xạ của các tia nhiễu xạ.

Để giải quyết vấn đề trên kiến nghị chủ yếu tập trung vào nguyên nhân thứ nhất đó là cải thiện hình dạng của chi tiết cách tử để gần hơn với hình dạng thiết kế. Một hướng thực thi đó là kiểm soát tốt hơn nữa quá trình phơi sáng, việc khóa vận giao thoa sẽ nâng cao đáng kể sự ổn định của các vân này và từ đó nâng cao chất lượng chi tiết cách tử.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã chế tạo thành công cách tử 2D có bước 5 μm bằng phương pháp vận giao thoa và khắc bằng tia ion. Cách tử được chế tạo có phạm vi khả dụng là 65 mm \times 65 mm, với sai số đường cách tử chỉ có 0,03 λ . Các thông số về hiệu suất nhiễu xạ đảm bảo yêu cầu sử dụng của hệ thống đo lường đa chiều.

Ngoài việc chế tạo cách tử 2D dùng cho hệ thống được đề cập trong bài báo, quy trình công nghệ chế tạo cách tử 2D này còn có thể áp dụng để chế tạo nhiều loại cách tử bước dài khác dùng trong các hệ thống đo lường khác nhau hoặc cả các ứng dụng khác như chụp ảnh quang phổ, làm lạnh nguyên tử,...

Mặc dù cách tử được chế tạo đã đáp ứng được yêu cầu sử dụng, vấn đề tối ưu và cải thiện về hình dạng và kích thước chi tiết cách tử cũng cần được nghiên cứu thêm. Điều này được quyết định ở các công đoạn phơi sáng, ăn mòn và khắc bằng tia ion, kiểm soát tốt các công đoạn này sẽ giúp kiểm soát tốt các thông số kỹ thuật của chi tiết cách tử.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về vật tư, thiết bị gia công chế tạo cách tử của Phòng thí nghiệm Cách tử, Khoa Cơ khí chính xác, Đại học Thanh Hoa, Bắc Kinh, Trung Quốc. Chân thành cảm ơn GS. Li Li Feng đã cung cấp phần mềm mô phỏng ETA để thiết kế cách tử 2D trong bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Kimura *et al*, “A sub-nanometric three-axis surface encoder with short-period planar gratings for stage motion measurement,” *Precis. Eng.*, Vol. 36, No. 4, 576–585, (2012).
- [2]. Z. Lu *et al*, “Two-degree-of-freedom displacement measurement system based on double diffraction gratings,” *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 27, No. 7 (2016).
- [3]. H. Hsieh, Pan S, “Three-degree-of-freedom displacement measurement using grating-based heterodyne interferometry,” *Appl. Opt.*, Vol. 52, No. 27, 6840–6848, (2013).
- [4]. X. Li *et al*, “A six-degree-of-freedom surface encoder for precision positioning of a planar motion stage,” *Precis. Eng.*, Vol. 37, No. 3, 771–781, (2013).
- [5]. C. C. Nshii *et al*, “A surface-patterned chip as a strong source of ultracold atoms for quantum technologies,” *Nat. Nanotechnol.*, Vol. 8, 321–324, (2013).
- [6]. Z. Yu *et al*, “Diffractive chips for magneto-optical trapping of two atomic species,” In *CLEO*, 7-8, (2020).
- [7]. D. Lin *et al*, “High stability multiplexed fiber interferometer and its application on absolute displacement measurement and on-line surface metrology,” *Opt. Express*, Vol.12, No.23, 5729, (2004).
- [8]. Y. Yee *et al*, “PZT actuated micromirror for fine-tracking mechanism of high-density optical data storage,” *Sensors Actuators, A. Phys.*, Vol.89, 166–173, (2001).

- [9]. G. Dai *et al*, “Metrological large range scanning probe microscope,” Rev. Sci. Instrum., Vol.75, No.4, 962–970, (2004).
- [10]. J. C. Montoya *et al*, “Doppler writing and linewidth control for scanning beam interference lithography,” J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron Nanom. Struct., Vol.23, No.6, 2640–2645, (2005).
- [11]. H. Hsieh *et al*, “Two-dimensional displacement measurement by quasi-common-optical-path heterodyne grating interferometer,” Opt. Express, Vol.19, No.10, 185–191, (2011).
- [12]. K. C. Fan *et al*, “Displacement measurement of planar stage by diffraction planar encoder in nanometer resolution,” 2012 IEEE I2MTC – Int. Instrum. Meas. Technol Conf Proc, 894–897, (2012).
- [13]. W. Gao W, A. Kimura, “A Three-axis Displacement Sensor with Nanometric Resolution,” CIRP Ann. – Manuf. Technol., Vol.56, No.1, 529–532, (2007).
- [14]. 王世玮, “计量用二维光栅像差校正效率的优化及制作”. 北京: 清华大学, (2016).
- [15]. V. H. Wolfereen, “Abelmann L. Laser interference lithography”. Hennessy T C. Lithography: Principles, Processes and Materials. Netherlands: Nova Science Publishers, Inc, (2011) p. 133–148.
- [16]. M. E. Walsh, “On the design of lithographic interferometers and their application”. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, (2004).
- [17]. S. Zhou *et al*, “Dual-comb spectroscopy resolved three-degree-of-freedom sensing,” Photon. Res., Vol.9, 243-251, (2021).
- [18]. L. Li, “Fourier Modal Method Gratings”, in Chap. 13 of Grating: Theory and Numeric Applications, 2nd rev. ed. Ed. Popov. E (2014).
- [19]. V. Le *et al*, “A single collimating lens based dual-beam exposure system for fabricating long-period grating,” Opt. Commun., Vol.460, 125139, (2020).

ABSTRACT

Design and fabrication of 2D-grating used in a multi-dimension measurement system

Long-period 2D-grating has many critical applications, especially in the precision measurement system. The photography grating fabrication methods still encounter some problems with the exposure system when fabricating this type of grating. In this paper, we present a process from research to design and fabrication of a 5 μm -period 2D-grating used in a multi-dimension measurement system. Therein, we use ETA software and based on using requirements, fabricating level to design and select parameters of grating detailed. Then, we proposed a novel exposure system to solve the problem of the traditional systems encountered when fabricating long-period gratings. Through the analysis and calculation, we adjust the system to optimize interference aberration, thereby optimizing the spacing errors. The fabrication result has conformed with the design and the spacing error achieved to 0.03λ within $65 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ of aperture, other parameters of grating all meet the requirements.

Keywords: 2D-Grating; Precision measurement; Precision fabrication.