



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0043202

(51)^{2020.01} C30B 15/22; G06F 17/18; C30B 29/06 (13) B

(21) 1-2020-07673

(22) 11/11/2019

(86) PCT/CN2019/117202 11/11/2019

(87) WO2020/114207 11/06/2020

(30) 201811465277.6 03/12/2018 CN

(45) 25/02/2025 443

(43) 25/10/2021 403

(73) LONGI GREEN ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD. (CN)

No. 388 Middle Aerospace Road Chang'an District Xi'an, Shaanxi 710100, China

(72) WANG, Zhengyuan (CN); LI, Qiao (CN); XU, Zhanjun (CN).

(74) CÔNG TY TRÁCH NHIỆM HỮU HẠN TƯ VẤN ĐẦU TƯ VÀ SỞ HỮU TRÍ TUỆ
INTERFIVE (INTERFIVE CO., LTD)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ ĐIỀU KHIỂN SỰ PHÁT TRIỂN CỦA SILIC ĐƠN
TÍNH THỂ VỚI ĐƯỜNG KÍNH KHÔNG ĐỐI VÀ VẬT GHI ĐỌC ĐƯỢC BẰNG
MÁY TÍNH

(21) 1-2020-07673

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp và thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi và vật ghi đọc được bằng máy tính, liên quan đến lĩnh vực kỹ thuật chế tạo tinh thể, để có thể tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn. Phương pháp theo giải pháp kỹ thuật cụ thể bao gồm các bước: thu nhận các giá trị ban đầu tỷ lệ-tích phân-đạo hàm (Proportion-Integration-Differentiation, PID) của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; và theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Sáng chế này được sử dụng để điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi.

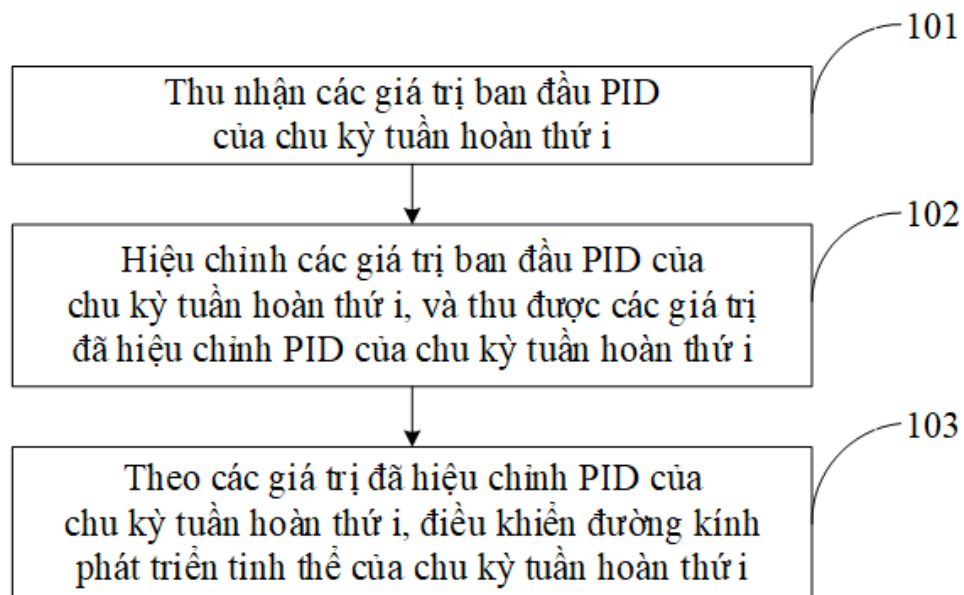


FIG.1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực kỹ thuật chế tạo tinh thể, và cụ thể là sáng chế đề cập đến phương pháp và thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi và vật ghi đọc được bằng máy tính.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Kỹ thuật chế tạo silic theo công nghệ czochralski bao gồm các bước đặt vật liệu silic đa tinh thể vào trong chén thạch anh, đun nóng để nấu chảy thành silic nóng chảy, và sau đó thực hiện các bước điều chỉnh nhiệt độ, tạo mầm, tạo vai, tạo mạch vai, làm cân bằng đường kính, kết thúc và v.v., để cuối cùng tạo ra thanh silic đơn tinh thể. Trong quy trình điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, ở các chế độ điều khiển thông thường, mức độ điều khiển trong toàn bộ sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi là không thay đổi. Tuy nhiên, ở giai đoạn đầu của sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, độ lệch đường kính của đầu tinh thể có mức độ thăng giáng lớn, giai đoạn này cần có mức độ điều khiển cao hơn, nhưng ở các giai đoạn giữa và sau của sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, mức độ thăng giáng đường kính của tinh thể giảm xuống, các giai đoạn này cần có mức độ điều khiển thấp hơn. Vì vậy, các chế độ điều khiển thông thường không thể đáp ứng được các yêu cầu về điều khiển.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Phần mô tả sáng chế trên đây chỉ mô tả vắn tắt các giải pháp kỹ thuật của sáng chế này. Để cho các dấu hiệu của sáng chế này được hiểu rõ hơn nhằm cho phép thực hiện sáng chế theo các nội dung trong bản mô tả sáng chế, và để làm cho một trong số các mục đích, dấu hiệu và ưu điểm nêu trên và các mục đích, dấu hiệu và ưu điểm khác của sáng chế này trở nên rõ ràng và dễ hiểu hơn, các phương án cụ thể của sáng chế này sẽ được mô tả dưới đây.

Các phương án thực hiện sáng chế đề xuất phương pháp và thiết bị điều khiển sự

phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi và vật ghi đọc được bằng máy tính, để có thể tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn. Các giải pháp kỹ thuật này như sau:

Theo khía cạnh thứ nhất của các phương án thực hiện sáng chế, sáng chế đề xuất phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

thu nhận các giá trị ban đầu tỷ lệ-tích phân-đạo hàm (Proportion-Integration-Differentiation, PID) của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị ban đầu PID có giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P , giá trị ban đầu của thành phần tích phân I và giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D , và $i \geq 1$;

hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị đã hiệu chỉnh PID có giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P , giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I và giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D ; và

theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Phương pháp này, bằng cách hiệu chỉnh theo thời gian thực các giá trị PID của mỗi chu kỳ tuần hoàn trong quy trình phát triển tinh thể với đường kính không đổi, tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, trong phương pháp này: bước thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm bước:

xác định các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(i-1)$ để làm các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm các bước:

thiết lập, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và

thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng;

tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P;

tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I; và

tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i, trong đó hiệu số đường kính là hiệu số giữa đường kính tinh thể mục tiêu và đường kính tinh thể theo thời gian thực;

thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P;

thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P; và

thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm các bước:

thu thập đường kính tinh thể ban đầu của chu kỳ tuần hoàn thứ i;

thiết lập đường kính tinh thể mục tiêu của chu kỳ tuần hoàn thứ i; và

tính toán, theo đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i và đường kính tinh thể mục tiêu của chu kỳ tuần hoàn thứ i, để thu được hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

tính toán giá trị trung bình của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I;

thiết lập từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I; và

thiết lập từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

tính toán độ lệch tiêu chuẩn của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của độ lệch tiêu chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D;

thiết lập từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D; và

thiết lập từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của

thành phần tỷ lệ P bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ nhất, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P, trong đó biểu thức thứ nhất là:

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

trong đó $P_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $P_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{i_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\alpha_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\beta_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $P_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ hai, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I, trong đó biểu thức thứ hai là:

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

trong đó $I_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $I_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $|D_{j_{err}}|$ biểu thị giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $\alpha_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ

nhất của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $I_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ ba, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D, trong đó biểu thức thứ ba là:

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

trong đó $D_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $D_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\alpha_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo khía cạnh thứ hai của các phương án thực hiện sáng chế, sáng chế đề xuất thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, bao gồm: môđun thu nhận, môđun hiệu chỉnh và môđun điều khiển;

môđun thu nhận được tạo cấu hình để thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị ban đầu PID có giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P, giá trị ban đầu của thành phần tích phân I và giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D, và $i \geq 1$;

môđun hiệu chỉnh được tạo cấu hình để hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị đã hiệu chỉnh PID có giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P, giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I và giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D; và

môđun điều khiển được tạo cấu hình để, theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận được tạo cấu hình để xác định các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(i-1)$ để làm các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun hiệu chỉnh bao gồm: môđun thiết lập và môđun tính toán;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng;

môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P;

môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I; và

môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thiết lập bao gồm: môđun thu nhận và môđun thiết lập;

môđun thu nhận được tạo cấu hình để thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P ;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P ; và

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P .

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thiết lập còn bao gồm môđun tính toán;

môđun thu nhận được tạo cấu hình để thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán giá trị trung bình của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I ;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I ; và

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I .

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận được tạo cấu hình để thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán độ lệch tiêu chuẩn của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của độ lệch tiêu

chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D;

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D; và

môđun thiết lập được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ nhất, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P, trong đó biểu thức thứ nhất là:

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

trong đó $P_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $P_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{i_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\alpha_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\beta_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $P_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ hai, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I, trong đó biểu thức thứ hai là:

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

trong đó $I_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $I_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ

tuần hoàn thứ i , $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $\overline{D_{j_{err}}}$ biểu thị giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $\alpha_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $I_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun tính toán được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ ba, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D , trong đó biểu thức thứ ba là:

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

trong đó $D_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $D_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\alpha_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo khía cạnh thứ ba của các phương án thực hiện sáng chế, sáng chế đề xuất thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, trong đó thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi này bao gồm bộ xử lý và bộ nhớ, bộ nhớ lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, và lệnh máy tính này được nạp và thực hiện bằng bộ xử lý để thực hiện các bước trong phương pháp điều khiển sự

phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả theo khía cạnh thứ nhất và một phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện của khía cạnh thứ nhất.

Theo khía cạnh thứ tư của các phương án thực hiện sáng chế, sáng chế đề xuất vật ghi đọc được bằng máy tính, trong đó vật ghi này lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, và lệnh máy tính này được nạp và thực hiện bằng bộ xử lý để thực hiện các bước trong phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả theo khía cạnh thứ nhất và một phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện của khía cạnh thứ nhất.

Cần phải hiểu rằng phần mô tả khái quát sáng chế trên đây và phần mô tả chi tiết sáng chế dưới đây chỉ là để làm ví dụ và để giải thích về sáng chế, và không thể giới hạn phạm vi của sáng chế này.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Để thể hiện một cách rõ ràng hơn các giải pháp kỹ thuật theo các phương án thực hiện sáng chế này hoặc giải pháp kỹ thuật đã biết, các hình vẽ cần dùng để mô tả các phương án thực hiện sáng chế hoặc giải pháp kỹ thuật đã biết sẽ được giới thiệu vắn tắt dưới đây. Rõ ràng là, các hình vẽ được mô tả dưới đây thể hiện các phương án thực hiện sáng chế này, và người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng có thể tìm ra các hình vẽ khác dựa vào các hình vẽ này mà không cần dùng đến năng lực sáng tạo.

Các hình vẽ được đưa vào trong bản mô tả sáng chế này và tạo thành một phần của bản mô tả sáng chế này. Các hình vẽ đó thể hiện các phương án thực hiện sáng chế, và giúp hiểu rõ về nguyên lý của sáng chế này kết hợp với phần mô tả sáng chế.

Fig.1 là lưu đồ thể hiện phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án thực hiện sáng chế;

Fig.2 là các đường cong biểu thị sự thay đổi của biên độ thẳng giáng tốc độ kéo tinh thể và độ lệch đường kính tinh thể với chiều dài đường kính không đổi của tinh thể theo phương án thực hiện sáng chế, trong đó các giá trị PID chưa được hiệu chỉnh;

Fig.3 là các đường cong biểu thị sự thay đổi của biên độ thẳng giáng tốc độ kéo tinh thể và độ lệch đường kính tinh thể với chiều dài đường kính không đổi của tinh thể theo

phương án thực hiện sáng chế, trong đó các giá trị PID đã được hiệu chỉnh;

Fig.4 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án thực hiện sáng chế;

Fig.5 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án thực hiện sáng chế;

Fig.6 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án thực hiện sáng chế; và

Fig.7 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án thực hiện sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Để làm cho một trong số các mục đích, giải pháp kỹ thuật và ưu điểm của các phương án thực hiện sáng chế này trở nên rõ ràng hơn, các giải pháp kỹ thuật theo các phương án thực hiện sáng chế này sẽ được mô tả rõ ràng và đầy đủ dưới đây dựa vào các hình vẽ theo các phương án thực hiện sáng chế này. Rõ ràng là, các phương án được mô tả trong sáng chế chỉ là một số phương án thực hiện sáng chế này, chứ không phải là tất cả các phương án thực hiện sáng chế. Tất cả các phương án khác mà người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng tìm ra dựa trên cơ sở các phương án thực hiện sáng chế này mà không cần dùng đến năng lực sáng tạo đều nằm trong phạm vi yêu cầu bảo hộ của sáng chế này.

Các phương án làm ví dụ được mô tả chi tiết ở đây, các ví dụ về các phương án này được thể hiện trên các hình vẽ. Trong phần mô tả sáng chế dưới đây liên quan đến các hình vẽ, trừ trường hợp có quy định khác, các số chỉ dẫn giống nhau trên các hình vẽ khác nhau thể hiện các bộ phận giống nhau hoặc tương tự với nhau. Các cách thức thực hiện được mô tả trong các phương án làm ví dụ dưới đây không biểu thị tất cả các phương án thực hiện sáng chế. Ngược lại, các cách thức thực hiện đó chỉ là các ví dụ về các thiết bị và các phương pháp theo một số khía cạnh của sáng chế như được mô tả chi tiết trong các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

Phương án thực hiện sáng chế đề xuất phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi. Như được thể hiện trên Fig.1, phương pháp

điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi bao gồm các bước:

101: thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, bước thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm bước: xác định các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(i-1)$ để làm các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Nói cách khác, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn hiện thời là các giá trị đã hiệu chỉnh PID của một chu kỳ tuần hoàn trước đó. Các giá trị ban đầu PID có giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P , giá trị ban đầu của thành phần tích phân I và giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D , và $i \geq 1$.

Ví dụ, khi $i=1$, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ nhất là P_0 , I_0 và D_0 . Thông thường, các giá trị P_0 , I_0 và D_0 được xác định theo các giá trị thực nghiệm. Trong quy trình sản xuất thực tế, các giá trị ban đầu PID được xác định theo độ lệch của đường kính phát triển tinh thể thực tế so với đường kính tinh thể mục tiêu. Khi $i=2$, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ hai là các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ nhất, tức là, $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$. Khi $i=3$, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ ba là các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ hai, tức là, $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$. Các giá trị còn lại có thể được xác định theo cách giống như vậy. Khi $i=N$, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ N là các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(N-1)$, tức là, $P_{(N-1)_{corrected}}$, $I_{(N-1)_{corrected}}$ và $D_{(N-1)_{corrected}}$. Khi $i=N+1$, các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$ là các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ N , tức là, $P_{N_{corrected}}$, $I_{N_{corrected}}$ và $D_{N_{corrected}}$.

102: hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, các giá trị đã hiệu chỉnh PID có giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P , giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I và giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D .

Dựa vào phần mô tả bước 101, khi $i=1$, các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D P_0 , I_0 và D_0 là $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$. Khi $i=2$, các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D là $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$, và các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng là $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$. Khi $i=3$, các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D là $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$, và các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng là $P_{3_{corrected}}$, $I_{3_{corrected}}$ và $D_{3_{corrected}}$. Các giá trị còn lại có thể được xác định theo cách giống như vậy. Khi $i=N$, các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D là $P_{(N-1)_{corrected}}$, $I_{(N-1)_{corrected}}$ và $D_{(N-1)_{corrected}}$, và các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng là $P_{N_{corrected}}$, $I_{N_{corrected}}$ và $D_{N_{corrected}}$.

Cụ thể là, bước 102 bao gồm các bước sau đây:

S1: thiết lập, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng.

Phần mô tả cụ thể theo thứ tự lần lượt dưới đây là bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng.

Thứ nhất là, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P;

thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P; và

thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu

kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P .

Bước thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm các bước: thu thập đường kính tinh thể ban đầu của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó đường kính tinh thể ban đầu là đường kính thực tế của sự phát triển tinh thể; và thiết lập đường kính tinh thể mục tiêu của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và sau đó tính toán để thu được hiệu số đường kính giữa đường kính tinh thể mục tiêu và đường kính tinh thể ban đầu của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Vì hiệu số đường kính giữa đường kính tinh thể mục tiêu và đường kính tinh thể ban đầu có thể có giá trị âm, cho nên theo các phương án thực hiện sáng chế, khi hiệu số đường kính được xử lý, cần dùng tất cả các hiệu số đường kính để thu được các giá trị tuyệt đối. Ngoài ra, từ $1/100$ đến $1/2$ của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i được thiết lập để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Thông số thích ứng của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i được xác định theo giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Thứ hai là, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

tính toán giá trị trung bình của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I ;

xác định từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I ; và

xác định từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I .

Cần lưu ý rằng M ở đây dùng để chỉ số lượng chu kỳ tuần hoàn được chọn, $M \leq i-1$. Vì vậy, khi $M=i-1$, bước này có nghĩa là bước thu nhận các hiệu số đường kính của tất cả các chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i . Khi $M < i-1$, bước này có nghĩa là

bước thu nhận các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở gần chu kỳ tuần hoàn thứ i và liên tiếp với nhau. Kích thước của M có thể được chọn theo điều kiện thực tế.

Chế độ thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i có thể dùng để chỉ bước thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i khi thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P , và ở đây sẽ không mô tả nữa. Vì M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i đã hoàn thành việc điều khiển đường kính tinh thể, cho nên quy trình này có thể bao gồm bước thu nhận các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i từ dữ liệu lịch sử; sau đó, tìm giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn; và nhờ đó, thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I . Thông số thích ứng của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i được xác định theo giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Thứ ba là, bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của mỗi chu kỳ tuần hoàn trong số M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

tính toán độ lệch tiêu chuẩn của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của độ lệch tiêu chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D ;

xác định từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D ; và

xác định từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D .

Cần lưu ý rằng M chu kỳ tuần hoàn ở đây giống với M chu kỳ tuần hoàn nêu trên ở bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I . Vì vậy, quy trình này bao gồm bước tính toán, theo các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn và giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, để thu được độ lệch tiêu chuẩn của các giá trị

tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, và thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của độ lệch tiêu chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D . Thông số thích ứng của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i được xác định theo giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

S2: tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P .

Cụ thể là, bước S2 bao gồm bước: tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ nhất, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó biểu thức thứ nhất là:

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

trong đó $P_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{i_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\alpha_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

S3: tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I .

Cụ thể là, bước S3 bao gồm bước: tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i , các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ hai, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó biểu thức thứ hai là:

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(\overline{|D_{j_{err}}|} - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(\overline{|D_{j_{err}}|} - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

trong đó $I_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $I_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $\overline{|D_{j_{err}}|}$ biểu thị giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $\alpha_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\beta_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $I_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

S4: tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D.

Cụ thể là, bước S4 bao gồm bước: tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i, các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i, giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ ba, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D, trong đó biểu thức thứ ba là:

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

trong đó $D_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ j trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $D_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\alpha_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo

hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i,a}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

103: theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Sau khi thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , phương pháp điều khiển PID được sử dụng để điều khiển sự phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Cụ thể là, phương pháp điều khiển PID có thể được sử dụng để điều khiển tốc độ phát triển tinh thể, và nhờ đó điều khiển đường kính phát triển tinh thể, và phương pháp điều khiển PID cũng có thể được sử dụng để điều khiển nhiệt độ phát triển tinh thể, và nhờ đó điều khiển đường kính phát triển tinh thể.

Phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo các phương án thực hiện sáng chế thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; và theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Phương pháp này, bằng cách hiệu chỉnh theo thời gian thực các giá trị PID của mỗi chu kỳ tuần hoàn trong quy trình phát triển tinh thể với đường kính không đổi, tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn.

Trên cơ sở phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án nêu trên tương ứng với Fig.1, phương án khác để thực hiện sáng chế đề xuất phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi. Phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo phương án này sử dụng phương pháp điều khiển PID, bằng cách tự động hiệu chỉnh các giá trị thông số PID trong các chu kỳ tuần hoàn bằng cách sử dụng hệ thống điều khiển có một lò chế tạo tinh thể, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể. Phương pháp này chủ yếu bao gồm các bước: trước tiên, thiết lập các giá trị ban đầu tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D; sau đó, thiết lập các ngưỡng mục tiêu

tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D, hiệu chỉnh các giá trị ban đầu, và xuất ra các giá trị đã hiệu chỉnh; và, cuối cùng, bằng cách sử dụng các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D, điều khiển đường kính tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID. Các bước nêu trên sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Bước thứ nhất: thiết lập các giá trị ban đầu.

Phương án này bao gồm bước thực hiện vòng tuần hoàn với t là khoảng thời gian của các chu kỳ tuần hoàn, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i, thiết lập các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D lần lượt là $P_{(i-1)_{corrected}}$, $I_{(i-1)_{corrected}}$ và $D_{(i-1)_{corrected}}$, và tính được rằng các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu $P_{(i-1)_{corrected}}$, $I_{(i-1)_{corrected}}$ và $D_{(i-1)_{corrected}}$ là $P_{i_{corrected}}$, $I_{i_{corrected}}$ và $D_{i_{corrected}}$.

Ví dụ, khi $i=1$, các giá trị ban đầu $P_{(i-1)_{corrected}}$, $I_{(i-1)_{corrected}}$ và $D_{(i-1)_{corrected}}$ của giá trị P, giá trị I và giá trị D lần lượt tương ứng là P_0 , I_0 và D_0 , và có thể tính được rằng các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu P_0 , I_0 và D_0 là $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$.

Khi $i=2$, các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D là $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$, và có thể tính được rằng các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu $P_{1_{corrected}}$, $I_{1_{corrected}}$ và $D_{1_{corrected}}$ là $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$.

Khi $i=3$, các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D là $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$, và có thể tính được rằng các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu $P_{2_{corrected}}$, $I_{2_{corrected}}$ và $D_{2_{corrected}}$ là $P_{3_{corrected}}$, $I_{3_{corrected}}$ và $D_{3_{corrected}}$.

Các giá trị còn lại có thể được xác định theo cách giống như vậy. Có thể tính được rằng các giá trị đã hiệu chỉnh của chu kỳ tuần hoàn thứ N là $P_{N_{corrected}}$, $I_{N_{corrected}}$ và $D_{N_{corrected}}$.

Các giá trị ban đầu P_0 , I_0 và D_0 được xác định theo thực nghiệm. Trong quy trình sản xuất thực tế, các giá trị ban đầu PID được xác định theo độ lệch của đường kính phát triển tinh thể thực tế so với đường kính tinh thể mục tiêu.

Bước thứ hai: hiệu chỉnh các giá trị ban đầu.

Quy trình cụ thể để hiệu chỉnh các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu chủ yếu bao gồm các bước: thiết lập các ngưỡng mục tiêu của giá trị P, giá trị I và giá trị D và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D; và hiệu chỉnh các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D, và xuất ra các giá trị đã hiệu chỉnh. Cụ thể là, quy trình này bao gồm:

Bước 1: trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , thiết lập đường kính tinh thể mục tiêu, và tính toán hiệu số giữa đường kính hồi đáp của hệ thống từ hệ thống điều khiển và đường kính tinh thể mục tiêu; và thu nhận các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Bước 2: thiết lập các ngưỡng mục tiêu tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D $P_{i_{\text{threshold}}}$, $I_{i_{\text{threshold}}}$ và $D_{i_{\text{threshold}}}$ và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị P, giá trị I và giá trị D, và các phương pháp thiết lập này tương ứng như sau:

a. thiết lập ngưỡng mục tiêu của giá trị P $P_{i_{\text{threshold}}}$, và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị P

Ngưỡng mục tiêu $P_{i_{\text{threshold}}}$: trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu $P_{i_{\text{threshold}}}$ được thiết lập bằng từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của $D_{i_{\text{err}}}$.

Các thông số thích ứng tương ứng với giá trị P là: $\alpha_{i_{a1}}$ và $\beta_{i_{a1}}$, trong đó thông số $\alpha_{i_{a1}}$ được thiết lập bằng từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị $P_{(i-1)_{\text{corrected}}}$, và thông số $\beta_{i_{a1}}$ được thiết lập bằng từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị $P_{(i-1)_{\text{corrected}}}$.

b. thiết lập ngưỡng mục tiêu của giá trị I $I_{i_{\text{threshold}}}$, và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị I

Ngưỡng mục tiêu $I_{i_{\text{threshold}}}$: trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu $I_{i_{\text{threshold}}}$

được thiết lập bằng từ 1/100 đến 1/2 của giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của $D_{i_{err}}$, trong đó giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của $D_{i_{err}}$ được mô tả trong sáng chế dùng để chỉ giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của các hiệu số đường kính của M+1 chu kỳ tuần hoàn, tức là, giá trị trung bình của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và các giá trị tuyệt đối của các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i.

Các thông số thích ứng tương ứng với giá trị I là: $\alpha_{i_{a2}}$ và $\beta_{i_{a2}}$, trong đó thông số $\alpha_{i_{a2}}$ được thiết lập bằng từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị $I_{(i-1)_{corrected}}$, và thông số $\beta_{i_{a2}}$ được thiết lập bằng từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị $I_{(i-1)_{corrected}}$.

c. thiết lập ngưỡng mục tiêu của giá trị D $D_{i_{threshold}}$, và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị D

Ngưỡng mục tiêu $D_{i_{threshold}}$: trong chu kỳ tuần hoàn thứ i, ngưỡng mục tiêu $D_{i_{threshold}}$ được thiết lập bằng từ 1/100 đến 1/2 của độ lệch tiêu chuẩn của các giá trị tuyệt đối của $D_{i_{err}}$, trong đó độ lệch tiêu chuẩn của các giá trị tuyệt đối của $D_{i_{err}}$ được mô tả trong sáng chế dùng để chỉ độ lệch tiêu chuẩn của các giá trị tuyệt đối của các hiệu số đường kính của M+1 chu kỳ tuần hoàn, tức là, độ lệch tiêu chuẩn của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và các giá trị tuyệt đối của các hiệu số đường kính của M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i.

Các thông số thích ứng tương ứng với giá trị D là: $\alpha_{i_{a3}}$ và $\beta_{i_{a3}}$, trong đó thông số $\alpha_{i_{a3}}$ được thiết lập bằng từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị $D_{(i-1)_{corrected}}$, và thông số $\beta_{i_{a3}}$ được thiết lập bằng từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị $D_{(i-1)_{corrected}}$.

Bước 3: trong chu kỳ tuần hoàn thứ i, tính toán các giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị ban đầu của giá trị P, giá trị I và giá trị D $P_{i_{corrected}}$, $I_{i_{corrected}}$ và $D_{i_{corrected}}$, trong đó các phương pháp tính toán này tương ứng như sau:

a. tính toán giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng của giá trị ban đầu của giá trị P, bằng cách sử dụng biểu thức tính (2):

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

b. tính toán giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng của giá trị ban đầu của giá trị I, bằng cách sử dụng biểu thức tính (3):

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

c. tính toán giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng của giá trị ban đầu của giá trị D, bằng cách sử dụng biểu thức tính (4):

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

Ý nghĩa của các ký hiệu trong các biểu thức từ (2) đến (4) có thể xem ở phần mô tả về các biểu thức tương ứng trong phương án tương ứng với Fig.1, và ở đây sẽ không mô tả nữa.

Phần mô tả sáng chế sẽ sử dụng $i=N$, tức là, chu kỳ tuần hoàn thứ N, để làm ví dụ.

Trong chu kỳ tuần hoàn thứ N, giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính $D_{N_{err}}$ giữa đường kính hồi đáp của hệ thống và đường kính tinh thể mục tiêu bằng 0,6, và do đó ngưỡng mục tiêu $P_{N_{threshold}}$ có thể được thiết lập nằm trong khoảng từ 0,3 đến 0,006. Nếu giá trị ban đầu của giá trị P $P_{(N-1)_{corrected}}$ bằng 3, thì khoảng giá trị của $\alpha_{N_{a1}}$ có thể bằng từ 0,003 đến 0,0003, và khoảng giá trị của $\beta_{N_{a1}}$ có thể bằng từ 0,0003 đến 0,00003.

Trong chu kỳ tuần hoàn thứ N, giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính từ chu kỳ tuần hoàn thứ nhất đến chu kỳ tuần hoàn thứ N bằng 0,4, và do đó khoảng giá trị của ngưỡng mục tiêu $I_{N_{threshold}}$ có thể bằng từ 0,2 đến 0,004. Nếu giá trị ban đầu của giá trị I $I_{(N-1)_{corrected}}$ bằng 0,05, thì khoảng giá trị của $\alpha_{N_{a2}}$ có thể bằng từ 0,00005 đến 0,000005, và khoảng giá trị của $\beta_{N_{a2}}$ có thể bằng từ 0,000005 đến 0,0000005.

Trong chu kỳ tuần hoàn thứ N, độ lệch tiêu chuẩn của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính từ chu kỳ tuần hoàn thứ nhất đến chu kỳ tuần hoàn thứ N bằng

0,04, và do đó khoảng giá trị của ngưỡng mục tiêu $D_{N_{\text{threshold}}}$ có thể bằng từ 0,02 đến 0,0004. Nếu giá trị ban đầu của giá trị D $D_{(N-1)\text{corrected}}$ bằng 600, thì khoảng giá trị của $\alpha_{N_{a3}}$ có thể bằng từ 0,6 đến 0,06, và khoảng giá trị của $\beta_{N_{a3}}$ có thể bằng từ 0,06 đến 0,006.

Cụ thể là, trong chu kỳ tuần hoàn thứ N , thiết lập giá trị ban đầu của giá trị P $P_{(N-1)\text{corrected}} = 3$, $P_{N_{\text{corrected}}} = 0,1$, $\alpha_{N_{a1}} = 0,003$ và $\beta_{N_{a1}} = 0,0005$, và giá trị tuyệt đối của độ lệch của đường kính tinh thể trong chu kỳ $D_{N_{\text{err}}}$ bằng 0,6mm.

Theo biểu thức (2), nhận thấy rằng $P_{N_{\text{corrected}}} = 3 + (0,6 - 0,1) * 0,003 + 0,5 * 0,0005 = 3,00175$. Vì vậy, trong chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$, giá trị ban đầu của giá trị P được thiết lập bằng $P_{N_{\text{corrected}}} = 3,00175$. Trong chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$, có thể tính được rằng giá trị tuyệt đối của độ lệch đường kính $D_{(N+1)\text{err}}$ bằng 0,05mm, và do đó thiết lập $P_{(N+1)\text{threshold}} = 0,005$, $\alpha_{(N+1)\text{a1}} = 0,003$ và $\beta_{(N+1)\text{a1}} = 0,0005$. Theo biểu thức (2), có thể nhận thấy rằng, trong chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$ $P_{(N+1)\text{corrected}} = 3,00175 + (0,05 - 0,005) * 0,003 + 0,045 * 0,0005 = 3,0019075$. Do đó, $P_{(N+2)\text{corrected}}$ được tính theo giá trị đã hiệu chỉnh của chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$ $P_{(N+1)\text{corrected}}$, và sau đó phương pháp tính toán tuần hoàn được thực hiện.

Theo cách tương tự, trong chu kỳ tuần hoàn thứ N , giá trị ban đầu $I_{(N-1)\text{corrected}}$ và ngưỡng mục tiêu $I_{N_{\text{threshold}}}$ của giá trị I và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị I $\alpha_{N_{a2}}$ và $\beta_{N_{a2}}$ được thiết lập, và giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với giá trị ban đầu của giá trị I $I_{N_{\text{corrected}}}$ được tính toán. Trong chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$, giá trị ban đầu của giá trị I được thiết lập bằng $I_{N_{\text{corrected}}}$, giá trị đã hiệu chỉnh $I_{(N+1)\text{corrected}}$ được tính, và sau đó phương pháp tính toán tuần hoàn được thực hiện.

Theo cách tương tự, trong chu kỳ tuần hoàn thứ N , giá trị ban đầu $D_{(N-1)\text{corrected}}$ và ngưỡng mục tiêu $D_{N_{\text{threshold}}}$ của giá trị D và các thông số thích ứng tương ứng với giá trị D

$\alpha_{N_{a3}}$ và $\beta_{N_{a3}}$ được thiết lập, và giá trị đã hiệu chỉnh tương ứng với giá trị ban đầu của giá trị D $D_{N_{corrected}}$ được tính toán. Trong chu kỳ tuần hoàn thứ $(N+1)$, giá trị ban đầu của giá trị D được thiết lập bằng $D_{N_{corrected}}$, giá trị đã hiệu chỉnh $D_{(N+1)corrected}$ được tính, và sau đó phương pháp tính toán tuần hoàn được thực hiện.

Bước thứ ba: điều khiển đường kính.

Trong chu kỳ tuần hoàn thứ N , theo các giá trị $P_{N_{corrected}}$, $I_{N_{corrected}}$ và $D_{N_{corrected}}$ đã tính được ở bước thứ hai, bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID, đường kính tinh thể trong chu kỳ tuần hoàn thứ N được điều khiển. Cụ thể là, phương pháp điều khiển PID có thể được sử dụng để điều khiển tốc độ phát triển tinh thể, và nhờ đó điều khiển đường kính phát triển tinh thể, và chắc chắn là, phương pháp điều khiển PID cũng có thể được sử dụng để điều khiển nhiệt độ phát triển tinh thể, và nhờ đó điều khiển đường kính phát triển tinh thể.

Lấy phương pháp điều khiển tốc độ phát triển tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID để làm ví dụ, trong quy trình phát triển tinh thể với đường kính không đổi thực tế, bằng cách điều chỉnh tốc độ phát triển tinh thể, độ lệch của đường kính phát triển tinh thể được điều khiển. Vì, theo sự ảnh hưởng đến tốc độ phát triển tinh thể của các giá trị thông số PID, các giá trị ban đầu phù hợp được thiết lập, và nhờ đó các giá trị ban đầu được hiệu chỉnh để điều khiển sự phát triển tinh thể. Nguyên lý tính toán để điều khiển tốc độ phát triển tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID như sau:

$$V = V_0 + \Delta Di * P + \int_0^{t1} \Delta Di * I + \frac{dDi}{dt} * D$$

trong đó V_0 biểu thị tốc độ phát triển tinh thể ban đầu, V biểu thị tốc độ phát triển tinh thể, ΔDi biểu thị độ lệch giữa đường kính phát triển tinh thể thực tế và đường kính phát triển tinh thể mục tiêu, Di biểu thị đường kính phát triển tinh thể, và $t1$ biểu thị khoảng thời gian phát triển tinh thể.

Như được thể hiện trên Fig.2 và Fig.3, Fig.2 là các đường cong biểu thị sự thay đổi của biên độ thẳng giáng tốc độ kéo tinh thể và độ lệch đường kính tinh thể với chiều dài

đường kính không đổi của tinh thể trong quy trình điều khiển sự phát triển tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID, trong đó giá trị P, giá trị I và giá trị D chưa được hiệu chỉnh. L1 biểu thị biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể thực tế, L2 biểu thị hiệu số giữa đường kính tinh thể thực tế và đường kính tinh thể mục tiêu, trục số ở bên trái trên Fig.2 biểu thị giá trị của biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể, trục số ở bên phải biểu thị hiệu số đường kính, và tọa độ nằm ngang biểu thị độ dài đường kính không đổi của tinh thể. Từ Fig.2 có thể thấy rằng biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể không phải là hằng số, trong đó biên độ thăng giáng bằng từ -30mm/h đến $+60\text{mm/h}$, và biên độ đạt tới giá trị 90mm/h , và khoảng thăng giáng của hiệu số đường kính là $\pm 2\text{mm}$.

Fig.3 là các đường cong biểu thị sự thay đổi của biên độ thăng giáng tốc độ kéo tinh thể và độ lệch đường kính tinh thể với chiều dài đường kính không đổi của tinh thể trong quy trình điều khiển sự phát triển tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp điều khiển PID, trong đó giá trị P, giá trị I và giá trị D đã được hiệu chỉnh. L3 biểu thị biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể thực tế, L4 biểu thị hiệu số giữa đường kính tinh thể thực tế và đường kính tinh thể mục tiêu, trục số ở bên trái trên Fig.3 biểu thị giá trị của biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể, trục số ở bên phải biểu thị hiệu số đường kính, và tọa độ nằm ngang biểu thị độ dài đường kính không đổi của tinh thể. Từ Fig.3 có thể thấy rằng, sau sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi bằng 50mm , biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể duy trì ở trong khoảng từ -15mm/h đến $+20\text{mm/h}$, biên độ gần bằng 35mm/h , và khoảng thăng giáng của đường kính là $\pm 1\text{mm}$.

Khi so sánh các biên độ thăng giáng của tốc độ kéo tinh thể và các độ lệch đường kính trên Fig.2 và Fig.3, có thể nhận thấy rằng, bằng cách hiệu chỉnh tự thích ứng các giá trị thông số PID, mức độ điều khiển đường kính tinh thể có thể được điều chỉnh tự động, nhờ đó điều khiển tốc độ kéo tinh thể và điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn.

Phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo các phương án thực hiện sáng chế thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $i \geq 1$; hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; và theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể

của chu kỳ tuần hoàn thứ i . Phương pháp này, bằng cách hiệu chỉnh theo thời gian thực các giá trị PID của mỗi chu kỳ tuần hoàn trong quy trình phát triển tinh thể với đường kính không đổi, tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó để điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn.

Trên cơ sở phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả trong phương án nêu trên tương ứng với Fig.1, thiết bị theo các phương án thực hiện sáng chế được mô tả dưới đây, và có thể được sử dụng để thực hiện quy trình theo các phương án thực hiện sáng chế.

Phương án thực hiện sáng chế đề xuất thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi. Như được thể hiện trên Fig.4, thiết bị điều khiển 40 bao gồm: môđun thu nhận 401, môđun hiệu chỉnh 402 và môđun điều khiển 403;

môđun thu nhận 401 được tạo cấu hình để thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị ban đầu PID có giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P , giá trị ban đầu của thành phần tích phân I và giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D , và $i \geq 1$;

môđun hiệu chỉnh 402 được tạo cấu hình để hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị đã hiệu chỉnh PID có giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P , giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I và giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D ; và

môđun điều khiển 403 được tạo cấu hình để, theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận 401 được tạo cấu hình để xác định các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ $(i-1)$ để làm các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

Theo phương án thực hiện sáng chế, như được thể hiện trên Fig.5, môđun hiệu chỉnh 402 bao gồm: môđun thiết lập 4021 và môđun tính toán 4022;

môđun thiết lập 4021 được tạo cấu hình để thiết lập, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i ,

ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng;

môđun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P;

môđun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I; và

môđun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D.

Như được thể hiện trên Fig.6, môđun thiết lập 4021 bao gồm: môđun thu nhận 61, môđun thiết lập 62 và môđun tính toán 63.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận 61 được tạo cấu hình để thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P; và

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận 61 được tạo cấu hình để thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i, trong đó $M \leq i-1$;

môđun tính toán 63 được tạo cấu hình để tính toán giá trị trung bình của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I; và

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun thu nhận 61 được tạo cấu hình để thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

môđun tính toán 63 được tạo cấu hình để tính toán độ lệch tiêu chuẩn của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/100$ đến $1/2$ của độ lệch tiêu chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D;

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/1000$ đến $1/10000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D; và

môđun thiết lập 62 được tạo cấu hình để thiết lập từ $1/10000$ đến $1/100000$ của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D.

Theo phương án thực hiện sáng chế, môđun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ nhất, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P , trong đó biểu thức thứ nhất là:

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

trong đó $P_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{i_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\alpha_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, mô đun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ hai, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I , trong đó biểu thức thứ hai là:

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(|D_{j_{err}}| - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

trong đó $I_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $I_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $|D_{j_{err}}|$ biểu thị giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính trong $M+1$ chu kỳ tuần hoàn, $\alpha_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $I_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Theo phương án thực hiện sáng chế, mô đun tính toán 4022 được tạo cấu hình để tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ ba, để thu được giá trị đã

hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D, trong đó biểu thức thứ ba là:

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (D_{j_{err}})^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (D_{j_{err}})^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

trong đó $D_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $D_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\alpha_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\beta_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

Thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo các phương án thực hiện sáng chế thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i, trong đó $i \geq 1$; hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i; và theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i, điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i. Thiết bị này, bằng cách hiệu chỉnh theo thời gian thực các giá trị PID của mỗi chu kỳ tuần hoàn trong quy trình phát triển tinh thể với đường kính không đổi, tự động điều chỉnh mức độ điều khiển sự phát triển tinh thể với đường kính không đổi, nhờ đó dễ điều khiển đường kính tinh thể tốt hơn.

Như được thể hiện trên Fig.7, phương án thực hiện sáng chế còn đề xuất thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, trong đó thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi bao gồm bộ thu 701, bộ truyền 702, bộ nhớ 703 và bộ xử lý 704, bộ truyền 702 và bộ nhớ 703 được kết nối với bộ xử lý 704, bộ nhớ 703 lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, và bộ xử lý 704 được tạo cấu hình để nạp và thực hiện ít nhất một lệnh máy tính, để thực hiện phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả trong phương án nêu trên tương ứng với Fig.1.

Trên cơ sở phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả trong phương án nêu trên tương ứng với Fig.1, phương án thực hiện sáng chế đề xuất vật ghi đọc được bằng máy tính. Ví dụ, vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính có thể là bộ nhớ chỉ đọc (Read Only Memory, ROM), bộ nhớ truy nhập ngẫu nhiên (Random Access Memory, RAM), đĩa compac-bộ nhớ chỉ đọc (Compact Disc-Read Only Memory, CD-ROM), băng từ, đĩa mềm, thiết bị lưu trữ dữ liệu quang học và v.v.. Vật ghi này lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, để thực hiện phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi được mô tả trong phương án nêu trên tương ứng với Fig.1.

Người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng có thể hiểu rằng tất cả hoặc một số bước trong số các bước để thực hiện các phương án nêu trên có thể được thực hiện bằng phần cứng, và cũng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chương trình để ra lệnh cho phần cứng thích hợp. Chương trình này có thể được lưu trữ trên vật ghi đọc được bằng máy tính. Vật ghi nêu trên có thể là bộ nhớ chỉ đọc, đĩa từ, đĩa quang và v.v..

Người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng, sau khi xem xét phần mô tả sáng chế và thực hiện các nội dung được mô tả ở trong đó, sẽ dễ dàng tìm ra các phương án khác để thực hiện sáng chế. Sáng chế này nhằm mục đích bao gồm mọi phương án cải biến, sử dụng hoặc thay đổi thích ứng của sáng chế, trong đó các phương án cải biến, sử dụng hoặc thay đổi thích ứng như vậy tuân theo nguyên lý chung của sáng chế và nằm trong phạm vi hiểu biết thông thường và các phương tiện kỹ thuật thông thường thuộc lĩnh vực kỹ thuật tương ứng không được mô tả trong sáng chế. Phần mô tả sáng chế này và các phương án thực hiện sáng chế chỉ được coi là ví dụ, và phạm vi thực sự và ý tưởng sáng tạo của sáng chế được xác định dựa vào các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

Cuối cùng, cần lưu ý rằng các phương án nêu trên chỉ được dùng để giải thích về các giải pháp kỹ thuật của sáng chế này, và không được dùng để giới hạn phạm vi của sáng chế. Mặc dù sáng chế này được trình bày chi tiết dựa vào các phương án nêu trên, nhưng người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng cần phải hiểu rằng vẫn có thể thay đổi các giải pháp kỹ thuật được nêu trong các phương án nêu trên, hoặc

tìm ra các phương án thay thế tương đương đối với một phần của các dấu hiệu kỹ thuật trong các phương án thực hiện sáng chế. Tuy nhiên, các phương án thay đổi hoặc thay thế như vậy không làm cho bản chất của các giải pháp kỹ thuật tương ứng vượt ra ngoài ý tưởng sáng tạo và phạm vi của các giải pháp kỹ thuật theo các phương án thực hiện sáng chế này.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

thu nhận các giá trị ban đầu tỷ lệ-tích phân-đạo hàm (Proportion-Integration-Differentiation, PID) của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị ban đầu PID có giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P, giá trị ban đầu của thành phần tích phân I và giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D, và $i \geq 1$;

hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó các giá trị đã hiệu chỉnh PID có giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P, giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I và giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D; và

theo các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , điều khiển đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

trong đó bước hiệu chỉnh các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và thu được các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm các bước:

thiết lập, trong chu kỳ tuần hoàn thứ i , ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng; tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P; tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I; và tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D;

trong đó bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó hiệu số đường kính là hiệu số giữa đường kính tinh thể mục tiêu và đường kính tinh thể theo thời gian

thực; thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị tuyệt đối của hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P ; thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P ; và thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P ;

trong đó bước tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ nhất, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P , trong đó biểu thức thứ nhất là:

$$P_{i_{corrected}} = P_{(i-1)_{corrected}} + \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a1}} + \int_0^t \left(|D_{i_{err}}| - P_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a1}}$$

trong đó $P_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $D_{i_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\alpha_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $\beta_{i_{a1}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , $P_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tỷ lệ P của chu kỳ tuần hoàn thứ i , và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn;

trong đó bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i , trong đó $M \leq i-1$;

tính toán giá trị trung bình của tất cả các hiệu số đường kính của $M+1$ chu kỳ tuần hoàn;

thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của giá trị trung bình để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I;

thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I; và thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I.

trong đó bước tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ hai, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I, trong đó biểu thức thứ hai là:

$$I_{i_{corrected}} = I_{(i-1)_{corrected}} + \left(\left| D_{j_{err}} \right| - I_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a2}} + \int_0^t \left(\left| D_{j_{err}} \right| - I_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a2}}$$

trong đó $I_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $I_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $\left| D_{j_{err}} \right|$ biểu thị giá trị trung bình của các giá trị tuyệt đối của tất cả các hiệu số đường kính trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $\alpha_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần tích phân I, $\beta_{i_{a2}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần tích phân I, $I_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần tích phân I của chu kỳ tuần hoàn thứ i, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn;

trong đó bước thiết lập ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i và thông số thích ứng tương ứng bao gồm các bước:

thu nhận các hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i và M chu kỳ tuần hoàn ở trước chu kỳ tuần hoàn thứ i, trong đó $M \leq i-1$;

tính toán độ lệch tiêu chuẩn của tất cả các hiệu số đường kính của M+1 chu kỳ tuần

hoàn;

thiết lập từ 1/100 đến 1/2 của độ lệch tiêu chuẩn để làm ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D;

thiết lập từ 1/1000 đến 1/10000 của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D; và

thiết lập từ 1/10000 đến 1/100000 của giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i để làm thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D; và

trong đó bước tính toán, theo ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D bao gồm bước:

tính toán, theo hiệu số đường kính và ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D và thông số thích ứng tương ứng, bằng cách sử dụng biểu thức thứ ba, để thu được giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D, trong đó biểu thức thứ ba là:

$$D_{i_{corrected}} = D_{(i-1)_{corrected}} + \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \alpha_{i_{a3}} + \int_0^t \left(\sqrt{\frac{1}{M+1} \sum (|D_{j_{err}}|)^2} - D_{i_{threshold}} \right) \times \beta_{i_{a3}}$$

trong đó $D_{i_{corrected}}$ biểu thị giá trị đã hiệu chỉnh của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{(i-1)_{corrected}}$ biểu thị giá trị ban đầu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $D_{j_{err}}$ biểu thị hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i trong M+1 chu kỳ tuần hoàn, $D_{i_{threshold}}$ biểu thị ngưỡng mục tiêu của thành phần đạo hàm D của chu kỳ tuần hoàn thứ i, $\alpha_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ nhất của thành phần đạo hàm D, $\beta_{i_{a3}}$ biểu thị thông số thích ứng thứ hai của thành phần đạo hàm D, và t biểu thị khoảng thời gian của chu kỳ tuần hoàn.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước thu nhận các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm bước:

xác định các giá trị đã hiệu chỉnh PID của chu kỳ tuần hoàn thứ (i-1) để làm các giá trị ban đầu PID của chu kỳ tuần hoàn thứ i.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước thu nhận hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i bao gồm các bước:

thu thập đường kính tinh thể ban đầu của chu kỳ tuần hoàn thứ i ;

thiết lập đường kính tinh thể mục tiêu của chu kỳ tuần hoàn thứ i ; và

tính toán, theo đường kính phát triển tinh thể của chu kỳ tuần hoàn thứ i và đường kính tinh thể mục tiêu của chu kỳ tuần hoàn thứ i , để thu được hiệu số đường kính của chu kỳ tuần hoàn thứ i .

4. Thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi, trong đó thiết bị điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi này bao gồm bộ xử lý và bộ nhớ, bộ nhớ lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, và lệnh máy tính này được nạp và thực hiện bằng bộ xử lý để thực hiện các bước trong phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3.

5. Vật ghi đọc được bằng máy tính, trong đó vật ghi này lưu trữ ít nhất một lệnh máy tính, và lệnh máy tính này được nạp và thực hiện bằng bộ xử lý để thực hiện các bước trong phương pháp điều khiển sự phát triển của silic đơn tinh thể với đường kính không đổi theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3.

1/3

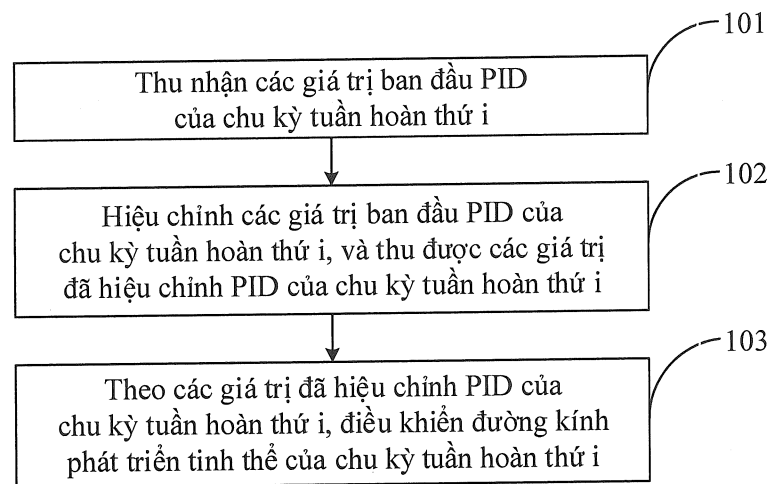


FIG. 1

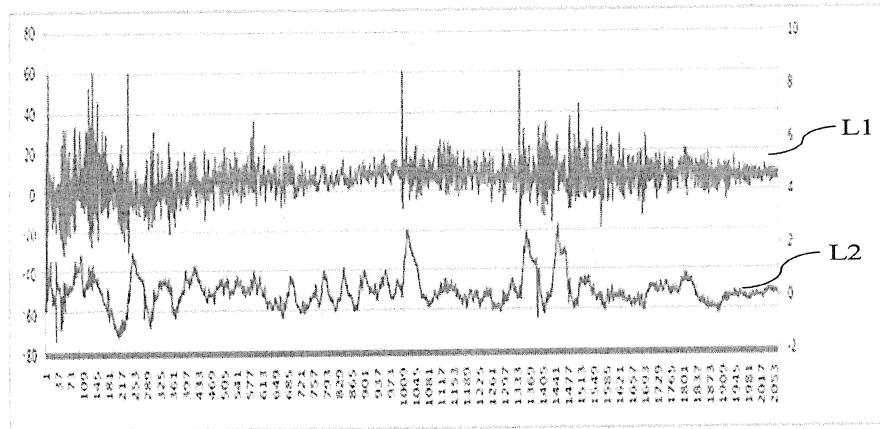


FIG. 2

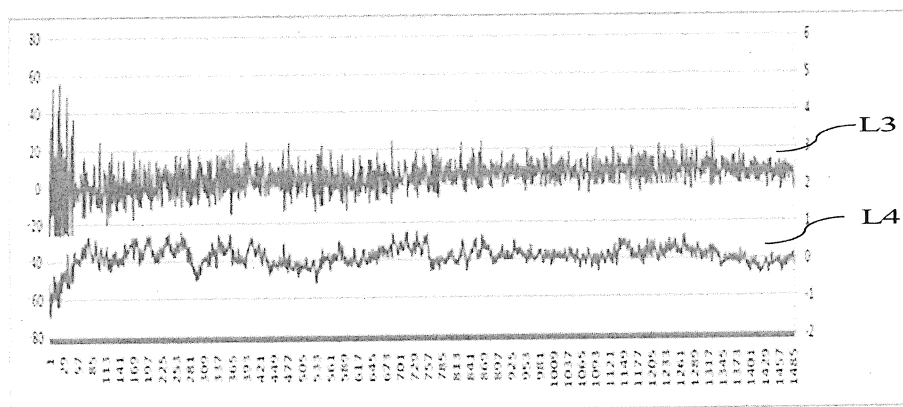


FIG. 3

2/3

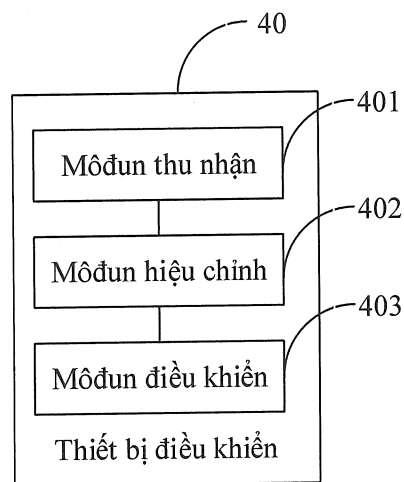


FIG. 4

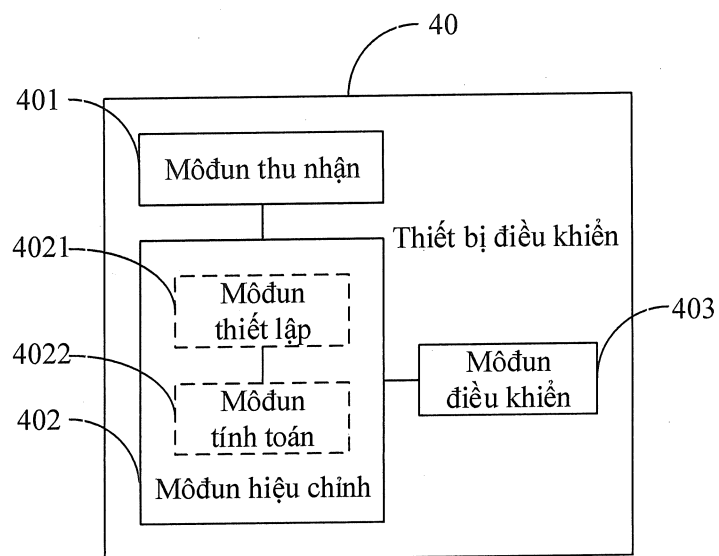


FIG. 5

3/3

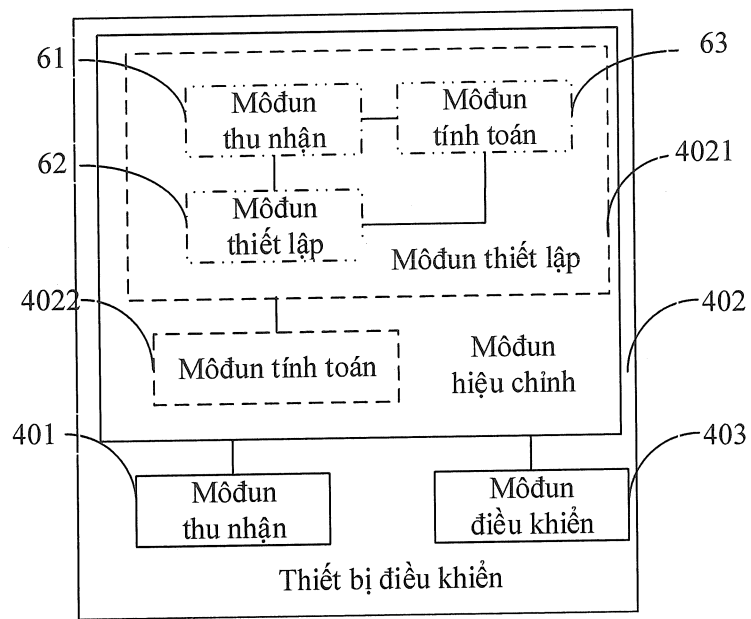


FIG. 6

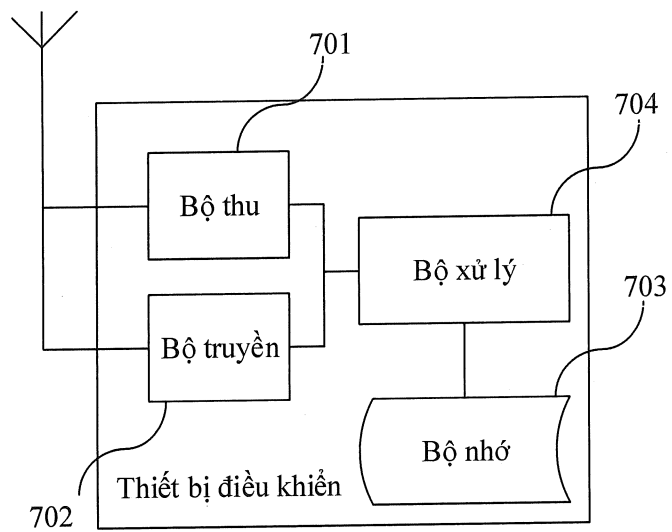


FIG. 7