



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0042482

(51)^{2020.01} **B23K 25/00; B23K 26/34; B23K 26/00** (13) **B**

(21) 1-2021-04337 (22) 19/12/2019
(86) PCT/US2019/067424 19/12/2019 (87) WO2020/132215 25/06/2020
(30) 62/781,996 19/12/2018 US
(45) 27/01/2025 442 (43) 27/12/2021 405
(73) SEURAT TECHNOLOGIES, INC. (US)
1060 La Avenida St., Mountain View, CA 94043, United States of America
(72) BAYRAMIAN, Andrew, J. (US); DEMUTH, James, A. (US); DUANMU, Ning
(US); SHEN, Yiyu (CN).
(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT ĐẮP DẦN TRONG IN 3D (THREE-DIMENSIONAL)

(21) 1-2021-04337

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất đắp dần. Phương pháp có thể bao gồm các bước cung cấp nền bột và định hướng xung chùm laze được tạo hình bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 ở vùng hai chiều được xác định của nền bột. Điều này tối thiểu hóa các hiệu ứng plasma laze bất lợi trong quá trình làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định. Sáng chế còn đề cập đến hệ thống laze để in hai chiều và phương pháp điều khiển laze.

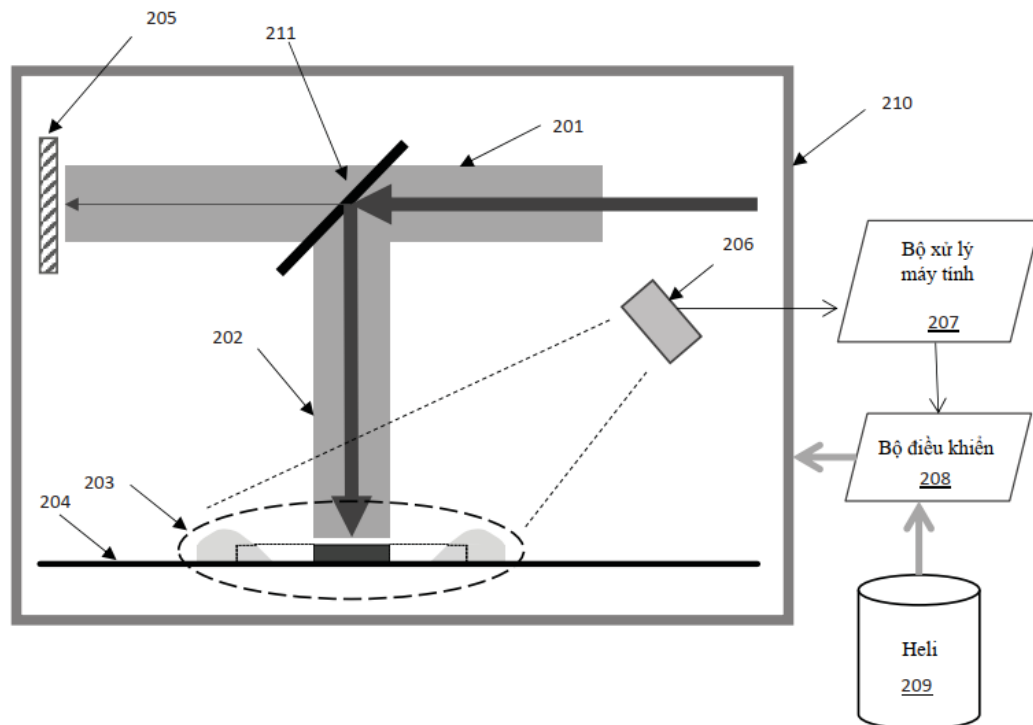


Fig. 2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Nói chung, sáng chế đề cập tới hoạt động sản xuất đắp dần (additive manufacturing) và cụ thể hơn là, đến hoạt động sản xuất đắp dần dung hợp nền bột nhờ sử dụng laze thông lượng cao với hình dạng xung có thể điều khiển được và định thời cho việc in hai chiều.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc gia công chi tiết truyền thống thường dựa vào việc loại bỏ vật liệu bằng cách khoan, cắt, hoặc mài để tạo ra một chi tiết. Ngược lại, hoạt động sản xuất đắp dần, còn được gọi là in ba chiều (3D: three-dimensional), thường bao gồm việc bổ sung lần lượt từng lớp vật liệu để dựng nên một chi tiết.

Theo một phương án năng suất cao, các vùng hai chiều hoặc “các lớp xếp” có thể được nung chảy từ lớp bột bằng kim loại hoặc vật liệu khác nhờ sử dụng chùm laze thông lượng cao. Tuy nhiên, công suất đỉnh cao hơn trong bộ truyền quang biến thành nguy cơ gia tăng về sự phá hỏng đối với các bộ phận quang bằng laze.

Vấn đề khác với các dây xung có thông lượng cao tiêu chuẩn được chiếu vào bột có liên quan đến việc tạo ra plasma và sự giãn nở thể tích mãnh liệt của plasma. Khi plasma duy trì và giãn nở thể tích của nó, các sóng xung kích được tạo ra mà có tác dụng đẩy xa lượng bột đáng kể lượng quanh vùng được in (hoặc được chiếu laze) vào các vùng xung quanh. Một cách hiệu quả, phản ứng chuỗi này của bức xạ chùm laze, sự hình thành plasma, duy trì và giãn nở plasma, lan truyền sóng xung kích, và sự dịch chuyển bột làm giảm chất lượng của quy trình in.

Đây là vấn đề cụ thể cho các hệ thống sản xuất đắp dần dựa trên sự dung hợp nền bột công suất cao. Các hệ thống sản xuất đắp dần dung hợp nền bột thông thường đã biết đang có hiện tại sử dụng chùm laze đơn lẻ có công suất bằng khoảng 300W đến 1000W và đường kính chùm hội tụ từ 50um (50 micromét) đến 100um. Công suất này chỉ chuyển thành thông lượng công suất laze bằng khoảng một vài MW/cm² (ví

dụ, chùm laze tròn 1000W với đường kính hội tụ bằng 100 μ m có thông lượng là $[1000W/(\pi*(0,005cm)^2)] = 12,74 \text{ MW/cm}^2$), vốn thích hợp để nung chảy và đun sôi bột kim loại, nhưng không đạt được các mật độ năng lượng mà cơ bản tạo ra và duy trì được plasma. Ngoài ra, do thể tích nung chảy là nhỏ, các hiệu ứng được tạo ra bởi plasma bất kỳ là nhỏ. Thông thường, các giọt kim loại bắn tóe có thể được nhìn thấy trong quy trình in trong các hệ thống thông thường, nhưng có từ ít tới không có sóng xung kích khởi tạo bởi plasma để đẩy đi các bột quanh vùng được in, gây ra “hiệu ứng Quả cầu” vốn ảnh hưởng nghiêm trọng và tiêu cực tới quy trình in.

Cần có các quy trình và các hệ thống được cải thiện để ngăn chặn các hiệu ứng quả cầu không thể chấp nhận được khi sử dụng chùm laze công suất thông lượng cao để nung chảy và làm cứng nhanh lớp bột bên trong vùng in. Thông lượng công suất các chùm laze hữu ích cho các hệ thống sản xuất đắp dần dựa trên sự dung hợp nền bột hai chiều có thể nằm trong khoảng từ hàng chục đến hàng trăm kW/cm² thậm chí đến mức GW/cm² trong một số trường hợp. Không may là, trong môi trường khí argon, các mức thông lượng công suất laze này thường đủ để tạo ra và duy trì plasma vốn đẩy xa các hạt bột khiến tạo ra các quả cầu không thể chấp nhận được trong quá trình sản xuất.

Thuận lợi là, cả sự phá hủy quang học và việc tạo ra plasma không mong muốn có thể được giảm hoặc được giảm bớt bằng cách tạo hình dạng và định thời xung thích hợp của các laze thông lượng cao.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một phương án của sáng chế của phương pháp sản xuất đắp dần, nền bột bằng kim loại, gốm, polyme, hoặc các vật liệu khác được cung cấp. Dãy xung chùm laze được tạo hình dạng bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm² được định hướng ở vùng hai chiều được xác định hoặc “lớp xếp” của nền bột. Năng lượng này là đủ cho việc làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định. Các thông số hệ thống, laze, quang, và vật liệu bột được thiết lập trong một số trường hợp sao cho nhỏ hơn 10% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 20% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện

tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 40% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 80% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 90% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 95% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định, trong các trường hợp khác nhỏ hơn 99% theo khối lượng của các hạt bột được đẩy vào trong các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định.

Theo một số phương án, dây xung chùm laze được tạo hình dạng được cung cấp bởi hệ thống bao gồm nguồn laze được tạo xung tùy ý, ít nhất một bộ tiền khuếch đại, và ít nhất một bộ khuếch đại công suất. Thông lượng laze có thể được thiết lập trong khoảng từ 200 kW/cm^2 đến 10 GW/cm^2 , và vùng hai chiều được xác định của nền bột được chọn là nằm trong khoảng $0,000025 \text{ cm}^2$ và 1000 cm^2 . Theo một số phương án, chiều dày của lớp bột trên nền bột nằm giữa ít nhất một trong số khoảng từ 1 đến $2000 \text{ }\mu\text{m}$, khoảng 25 đến $250 \text{ }\mu\text{m}$, và khoảng 50 đến $100 \text{ }\mu\text{m}$. Kích cỡ của bột được sử dụng $<100,000 \text{ }\mu\text{m}$ theo đường kính khi sử dụng cường độ laze được tạo xung $< 10 \text{ GW/cm}^2$, và trong các phương án được chọn, bột được sử dụng là $<500 \text{ }\mu\text{m}$ theo đường kính khi sử dụng cường độ xung $> 20 \text{ kW/cm}^2$.

Theo một phương án khác, các điều chỉnh động đối với hệ thống có thể được thực hiện bằng cách cung cấp bước hiệu chuẩn mà bao gồm điều chỉnh ít nhất một trong số chùm năng lượng laze, độ rộng xung, hoặc diện tích của vùng hai chiều được xác định đáp ứng với diện tích được phát hiện của quầng mà được tạo ra bởi thử nghiệm quầng sơ bộ. Hình dạng xung, số lượng xung, hoặc công suất đỉnh xung như hàm số của thời gian cũng có thể được điều chỉnh đáp ứng với diện tích được phát hiện của quầng mà được tạo ra bởi thử nghiệm quầng sơ bộ. Thông thường, bán kính của quầng được thiết lập lớn hơn 50 micron vượt quá vùng hai chiều được xác định. Theo các phương án khác, bán kính của quầng được thiết lập lớn hơn 10 micron vượt quá vùng hai chiều được xác định. Theo các phương án khác, bán kính của quầng được thiết lập lớn hơn 1 micron vượt quá vùng hai chiều được xác định.

Theo một phương án, độ rộng xung theo thời gian của laze nằm trong khoảng từ 20 nano giây đến 100 micro giây. Dãy xung laze với số lượng xung lớn hơn hoặc bằng một (1) có thể được sử dụng, và công suất đỉnh xung laze có thể được điều chỉnh như hàm số của thời gian.

Theo một phương án khác, hệ thống laze để in hai chiều bao gồm nguồn tín hiệu xung laze và một hoặc nhiều môđun tiền khuếch đại để nhận và định hướng chùm laze về phía thiết bị cách ly quang. Một hoặc nhiều môđun khuếch đại có thể được định vị để nhận chùm laze từ thiết bị cách ly quang và định hướng nó về phía vùng hai chiều được xác định của nền bột. Nguồn tín hiệu xung laze có thể tạo ra ít nhất một trong số sóng vuông, sóng dốc, hoặc dãy xung và thiết bị cách ly quang có thể bao gồm ít nhất một trong số ô Pockels, rôto Faraday, bộ cách ly Faraday, bộ phản xạ âm quang, hoặc lưới Bragg thể tích.

Theo một phương án khác, phương pháp điều khiển laze bao gồm các bước chiếu nguồn tín hiệu xung laze về phía môđun tiền khuếch đại và bộ điều biến quang hoặc thiết bị cách ly để cung cấp chùm laze thứ nhất. Chùm laze thứ nhất có thể được định hướng về phía môđun khuếch đại để cung cấp dãy xung chùm laze được tạo hình dạng bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 . Thông thường, thông lượng nằm trong khoảng từ 200 kW/cm^2 đến 10 GW/cm^2 . Độ rộng xung theo thời gian của laze có thể được thiết lập thành khoảng từ 20 nano giây đến 100 micro giây. Dãy xung laze với số lượng xung lớn hơn một (1) có thể được sử dụng, và công suất đỉnh xung laze có thể được điều chỉnh như hàm số của thời gian. Dãy xung chùm laze được tạo hình dạng có thể được định hướng ở vùng hai chiều được định kích cỡ nằm trong khoảng từ $0,000025 \text{ cm}^2$ đến 1000 cm^2 .

Theo một phương án, dãy xung chùm laze được tạo hình dạng có thể được định hướng ở trạm sản xuất đắp dần. Ví dụ, dãy xung chùm laze được tạo hình dạng có thể được định hướng ở vùng hai chiều được xác định của nền bột sản xuất đắp dần để làm nóng chảy và dung hợp các bột kim loại hoặc bột khác bên trong vùng hai chiều được xác định.

Theo một phương án, phương pháp sản xuất đắp dần bao gồm bước cung cấp khoang kín bao quanh nền bột và có môi trường chứa ít nhất 50% khí trơ, theo cách tùy chọn ở lớn hơn áp suất môi trường. Chùm laze có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2

có thể được định hướng ở vùng hai chiều được xác định của nền bột để làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định.

Theo một phương án, phương pháp sản xuất đắp dần bao gồm bước cung cấp khoang kín bao quanh nền bột và có môi trường chứa ít nhất 50% khí trơ, theo cách tùy chọn ở nhỏ hơn áp suất môi trường. Chùm laser có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 có thể được định hướng ở vùng hai chiều được xác định của nền bột để làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định.

Theo một phương án, môi trường có thể chứa ít nhất một khí trong số Ar, He, Ne, Kr, Xe, CO_2 , N_2 , O_2 , SF_6 , CH_4 , CO , N_2O , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$, C_4H_{10} , $1\text{-C}_4\text{H}_8$, $\text{cis-2-C}_4\text{H}_7$, $1,3\text{-C}_4\text{H}_6$, $1,2\text{-C}_4\text{H}_6$, C_5H_{12} , $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$, $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$, $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$, $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$, C_7H_{16} , C_8H_{18} , $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$, $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$, $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$, $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$, $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$, $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$, C_6H_6 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$, C_8H_{10} , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_3OH , và $i\text{C}_4\text{H}_8$.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các phương án không giới hạn và không toàn diện của sáng chế được mô tả tham chiếu đến các hình vẽ sau đây trong đó các số chỉ dẫn giống nhau đề cập đến các phần giống nhau trên toàn bộ các hình vẽ khác nhau trừ khi có mô tả cụ thể khác.

Fig.1A minh họa lớp bột trước khi đáp ứng với laser;

Fig.1B minh họa sự chuyển động của bột đáp ứng với laser gây ra bởi plasma;

Fig.1C minh họa sự chuyển động của bột đáp ứng với xung tùy ý mà ngăn chặn sự hình thành plasma;

Fig.2 minh họa thiết bị để sản xuất đắp dần hai chiều với sự hình thành plasma giảm ở các mức thông lượng laser cao.

Fig.3A đến Fig.3C minh họa xung/các xung ví dụ của laser thông lượng cao; và

Fig.4 minh họa các môđun của hệ thống để tạo ra dãy xung thích hợp.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trong phần mô tả dưới đây, tham chiếu đến các hình vẽ kèm theo, vốn tạo ra một phần của sáng chế, và trên đó được thể hiện, nhờ minh họa các phương án làm ví dụ cụ thể mà theo đó sáng chế có thể được thực hiện. Các phương án này được mô tả đủ chi tiết để cho phép người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực tương ứng thực hiện được các nguyên lý được bộc lộ ở đây, và cần hiểu rằng các cải biến cho các phương án được bộc lộ khác nhau có thể được thực hiện, và các phương án khác có thể được sử dụng, mà không nằm ngoài phạm vi của sáng chế. Do đó, phần mô tả chi tiết dưới đây không mang ý nghĩa giới hạn.

Theo một phương án, hệ thống sản xuất đắp dần mà có một hoặc nhiều nguồn năng lượng, bao gồm một hoặc nhiều chùm laze hoặc electron, được định vị để phát xạ một hoặc nhiều chùm năng lượng. Các thành phần quang tạo hình dạng chùm có thể nhận một hoặc nhiều chùm năng lượng từ nguồn năng lượng và tạo ra chùm đơn. Cụm tạo mẫu hình năng lượng nhận hoặc tạo ra chùm đơn và truyền mẫu hình hai chiều tới chùm và có thể loại bỏ năng lượng không được sử dụng không có trong mẫu hình. Bộ chuyển tiếp hình ảnh nhận chùm đã tạo mẫu hình hai chiều và hội tụ nó như hình ảnh hai chiều đến vị trí mong muốn ở chiều cao cố định hoặc nền tảng xây dựng có thể dịch chuyển (ví dụ nền bột). Theo các phương án nhất định, một số hoặc tất cả trong số năng lượng được loại bỏ bất kỳ từ cụm tạo mẫu hình năng lượng được tái chu chuyển.

Theo một số phương án, nhiều chùm từ mảng/các mảng laze được kết hợp nhờ sử dụng bộ đồng nhất hóa chùm. Chùm được kết hợp này có thể được định hướng ở cụm tạo mẫu hình năng lượng mà bao gồm van ánh sáng có thể định vị trí điểm ảnh hoặc có thể truyền được hoặc phản xạ. Theo một phương án, van ánh sáng có thể định vị trí điểm ảnh bao gồm cả môđun tinh thể lỏng có phân tử phân cực và cụm chiếu ánh sáng cung cấp mẫu hình đầu vào hai chiều. Hình ảnh hai chiều được hội tụ bởi bộ chuyển tiếp hình ảnh có thể được định hướng một cách liên tục về phía nhiều vị trí trên nền bột để xây dựng cấu trúc 3D.

Nguồn năng lượng tạo ra photon (ánh sáng), electron, ion, hoặc các chùm năng lượng thích hợp khác hoặc các thông lượng có khả năng được định hướng, tạo hình dạng, và tạo mẫu hình. Nhiều nguồn năng lượng có thể được sử dụng theo cách kết

hợp. Nguồn năng lượng có thể bao gồm các laze, đèn sợi đốt, năng lượng mặt trời được tập trung, các nguồn ánh sáng khác, các chùm electron, hoặc các chùm ion. Các loại laze khả thi bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở: Các laze khí, các laze hóa học, các laze màu nhuộm, các laze hơi kim loại, các laze thể rắn (ví dụ sợi), các laze bán dẫn (ví dụ điốt), laze không có electron, laze khí động, laze Samarium "dạng Niken", laze Raman, hoặc laze được bơm hạt nhân.

Laze khí có thể bao gồm các laze như laze heli–neon, laze argon, laze krypton, laze ion xenon, laze nitơ, laze cacbon đioxit, laze cacbon monoxit hoặc laze excime.

Laze hóa học có thể bao gồm các laze như hydro florua laze, laze đơteri florua, COIL (laze oxy–iodin hóa học), hoặc Agil (laze iodin toàn bộ pha khí).

Laze kim loại hơi có thể bao gồm các laze như laze hơi kim loại heli–cadimi (HeCd), laze hơi kim loại heli–thủy ngân (HeHg), laze hơi kim loại heli–selen (HeSe), laze hơi kim loại heli–bạc (HeAg), laze hơi stronti, laze hơi kim loại, laze hơi đồng, laze hơi vàng, hoặc laze hơi mangan (Mn/MnCl_2). Các laze hơi rubiđi hoặc kim loại kiềm khác cũng có thể được sử dụng. Laze thể rắn có thể bao gồm các laze như laze ruby, laze Nd:YAG, laze NdCrYAG, laze Er:YAG, laze thể rắn neodým YLF (Nd:YLF), laze Ytriorthovanadat(Nd:YVO₄) được thêm neodým, ytricanxi oxoborat Nd:YCa₄O(BO₃)³ được thêm neodým hoặc viết giản lược là Nd:YCOB, laze thủy tinh neodým (Nd:Glass), laze titan sapphia (Ti:sapphire), laze thuli YAG (Tm:YAG), laze yterbi YAG (Yb:YAG), laze yterbi:2O₃ (thủy tinh hoặc gốm), laze thủy tinh được thêm yterbi (thanh, tấm/mẫu, và sợi), laze holmi YAG (Ho:YAG), laze crom ZnSe (Cr:ZnSe), liti stronti được thêm xeri (hoặc canxi) nhôm florua(Ce:LiSAF, Ce:LiCAF), laze thể rắn thủy tinh phosphat(¹⁴⁷Pm⁺:Glass) được thêm prometi 147, laze chrysoberyl (alexandrite) được thêm crom, các laze thủy tinh cùng được thêm anderbi–ytterbi được thêm erbi, laze thể rắn canxi florua (U:CaF₂) được thêm urani hóa trị ba, laze canxi florua(Sm:CaF₂) được thêm samari hóa trị hai, hoặc laze tâm F.

Laze bán dẫn có thể bao gồm các kiểu môi trường laze như GaN, InGaN, AlGaInP, AlGaAs, InGaAsP, GaInP, InGaAs, InGaAsO, GaInAsSb, muối chì, laze phát xạ bề mặt lõm thẳng đứng (VCSEL), laze bậc lượng tử, laze silic lai, hoặc các kết hợp của chúng.

Ví dụ, theo một phương án, laze được chuyển q Nd:YAG đơn có thể được sử dụng liên kết với nhiều laze bán dẫn. Theo một phương án khác, chùm electron có thể được sử dụng liên kết với mảng laze bán dẫn cực tím. Cũng theo các phương án khác, mảng hai chiều của các laze có thể được sử dụng. Theo một số phương án với nhiều nguồn năng lượng, việc tạo mẫu hình trước của chùm năng lượng có thể được thực hiện bằng cách kích hoạt và giải kích hoạt theo cách lựa chọn các nguồn năng lượng.

Chùm laze có thể được tạo hình dạng nhờ sự thay đổi lớn của các thành phần quang tạo hình ảnh để kết hợp, hội tụ, phân kỳ, phản xạ, khúc xạ, đồng nhất, điều chỉnh cường độ, điều chỉnh tần số, hoặc theo cách khác tạo hình và định hướng một hoặc nhiều chùm laze mà được nhận từ nguồn chùm laze về phía cụm tạo mẫu hình năng lượng. Theo một phương án, nhiều chùm ánh sáng, mỗi chùm có bước sóng ánh sáng khác biệt, có thể được kết hợp nhờ sử dụng các gương chọn bước sóng (ví dụ các gương lưỡng hướng sắc) hoặc các phần tử nhiễu xạ. Theo các phương án khác, nhiều chùm có thể được đồng nhất hoặc được kết hợp nhờ sử dụng các gương đa diện, các vi thấu kính, và các phần tử quang khúc xạ hoặc nhiễu xạ.

Việc tạo mẫu hình năng lượng có thể bao gồm các phần tử tạo mẫu hình năng lượng tĩnh hoặc động. Ví dụ, các chùm photon, electron, hoặc ion có thể bị chặn bởi các tấm chắn với các phần tử cố định hoặc có thể dịch chuyển. Để tăng độ linh hoạt và độ dễ của việc tạo mẫu hình hình ảnh, việc tạo mặt nạ có thể định địa chỉ điểm ảnh, việc tạo hình ảnh, hoặc hoạt động truyền có thể được sử dụng. Theo một số phương án, cụm tạo mẫu hình năng lượng bao gồm các van ánh sáng có thể định địa chỉ, riêng biệt hoặc liên kết với các cơ chế tạo mẫu hình khác để tạo ra mẫu hình. Các van ánh sáng có thể có tính truyền được, phản xạ, hoặc sử dụng sự kết hợp của các phần tử có thể truyền và phản xạ. Các mẫu hình có thể được điều chỉnh động nhờ sử dụng phương pháp điện hoặc quang. Theo một phương án, van ánh sáng được định địa chỉ quang truyền được hoạt động để quay sự phân cực của ánh sáng đi qua van, với các điểm ảnh được định địa chỉ quang mà tạo ra các mẫu hình được xác định bởi nguồn chiếu ánh sáng. Theo một phương án khác, van ánh sáng được định địa chỉ quang phản xạ bao gồm chùm ghi để điều chỉnh sự phân cực của chùm đọc. Theo phương án khác nữa, thiết bị tạo mẫu hình electron nhận mẫu hình địa chỉ từ nguồn kích thích bằng điện hoặc photon và tạo ra sự phát xạ được tạo mẫu hình của các electron.

Cụm xử lý năng lượng được loại bỏ có thể được sử dụng để phân tán, chuyển hướng, hoặc sử dụng năng lượng không được tạo mẫu hình và đi qua bộ chuyển tiếp hình ảnh tạo mẫu hình năng lượng. Theo một phương án, cụm xử lý năng lượng được loại bỏ có thể bao gồm các phần tử làm nguội thụ động hoặc chủ động để loại bỏ nhiệt khỏi cụm tạo mẫu hình năng lượng. Theo các phương án khác, cụm xử lý năng lượng được loại bỏ có thể bao gồm “bộ cản chùm” để hấp thu và chuyển đổi để gia nhiệt chùm năng lượng bất kỳ mà không được sử dụng khi xác định mẫu hình năng lượng. Cũng theo các phương án khác, chùm năng lượng được loại bỏ có thể được tái sử dụng nhờ sử dụng các thành phần quang tạo hình dạng chùm. Theo cách thay thế, hoặc ngoài ra, chùm năng lượng được loại bỏ có thể được định hướng tới cụm xử lý vật phẩm để gia nhiệt hoặc tạo mẫu hình thêm nữa. Theo các phương án nhất định, chùm năng lượng được loại bỏ có thể được định hướng tới các hệ thống tạo mẫu hình năng lượng bổ sung hoặc các cụm xử lý vật phẩm.

Bộ chuyển tiếp hình ảnh nhận hình ảnh đã được tạo mẫu hình (thường là hai chiều) từ cụm tạo mẫu hình năng lượng và dẫn hướng nó về phía cụm xử lý vật phẩm 10. Theo cách tương tự với các thành phần quang tạo hình dạng chùm, bộ chuyển tiếp hình ảnh có thể bao gồm các thành phần quang để kết hợp, hội tụ, phân kỳ, phản xạ, khúc xạ, điều chỉnh cường độ, điều chỉnh tần số, hoặc theo cách khác tạo hình dạng và định hướng hình ảnh được tạo mẫu hình.

Cụm xử lý vật phẩm có thể bao gồm buồng có thành và nền, và ống định lượng vật liệu để phân bố vật liệu. Ống định lượng vật liệu có thể phân phối, loại bỏ, trộn, tạo ra các mức giảm hoặc thay đổi trong vật liệu loại hoặc kích cỡ hạt, hoặc điều chỉnh chiều dày lớp của vật liệu. Vật liệu có thể bao gồm các bột kim loại, gốm, thủy tinh, polyme, vật liệu có thể nóng chảy khác có khả năng trải qua sự thay đổi pha gây ra bởi nhiệt từ chất rắn thành chất lỏng và ngược lại, hoặc các kết hợp của chúng. Vật liệu có thể còn bao gồm các compozit của vật liệu có thể nóng chảy và vật liệu không thể nóng chảy trong đó một trong hai hoặc cả hai thành phần có thể được nhắm mục tiêu theo cách lựa chọn bởi hệ thống chuyển tiếp hình ảnh để làm nóng chảy thành phần mà có thể nóng chảy, trong khi hoặc để lại dọc vật liệu theo không thể nóng chảy hoặc khiến cho nó trải qua quá trình bay hơi/phá hủy/đốt cháy hoặc quá trình giải thể khác. Theo các phương án nhất định, bột nhão, đất sét, các lớp phủ, các dây, các dải, hoặc

các tấm vật liệu có thể được sử dụng. Vật liệu không mong muốn có thể được loại bỏ để có thể dùng một lần hoặc tái sử dụng nhờ sử dụng các bộ thổi, các hệ thống chân không, việc quét, việc rung, việc lắc, việc gõ nhẹ, hoặc sự đảo ngược của nền.

Ngoài các thành phần xử lý vật liệu, cụm xử lý vật phẩm có thể bao gồm các thành phần để giữ và đỡ các kết cấu 3D, các cơ chế để gia nhiệt hoặc làm nguội khoang này, các thành phần quang phụ trợ hoặc hỗ trợ, và các bộ cảm biến và các cơ chế điều khiển để kiểm soát hoặc điều chỉnh vật liệu hoặc các điều kiện môi trường. Cụm xử lý vật phẩm có thể hỗ trợ, toàn bộ hoặc một phần, môi trường chân không hoặc khí trơ để làm giảm các tương tác hóa học không mong muốn cũng như để giảm bớt các nguy cơ cháy hoặc nổ (đặc biệt là với các kim loại dễ phản ứng).

Bộ xử lý điều khiển có thể được kết nối để điều khiển các thành phần bất kỳ của hệ thống sản xuất lắp ráp. Bộ xử lý điều khiển có thể được kết nối với nhiều loại trong số các bộ cảm biến, bộ dẫn động, các hệ thống gia nhiệt hoặc làm nguội, bộ giám sát, và các bộ điều khiển để phối hợp hoạt động. Phạm vi rộng của các bộ cảm biến, bao gồm các bộ tạo hình ảnh, các bộ giám sát cường độ ánh sáng, các bộ cảm biến nhiệt, áp suất, hoặc khí có thể được sử dụng để cung cấp thông tin được sử dụng trong điều khiển hoặc kiểm soát. Bộ xử lý điều khiển có thể là bộ điều khiển trung tâm đơn, hoặc theo cách thay thế, có thể bao gồm một hoặc nhiều hệ thống điều khiển độc lập. Bộ xử lý điều khiển có giao diện để cho phép việc nhập vào của các lệnh sản xuất. Việc sử dụng phạm vi rộng của các bộ cảm biến cho phép các cơ chế điều khiển phản hồi khác nhau mà cải thiện được chất lượng, lưu lượng sản xuất, và hiệu suất năng lượng.

Việc thiết kế, cách thực hiện và các phương pháp hoạt động của hệ thống laze với độ nhanh và khả năng co giãn xung dài để làm giảm việc phá hỏng các thành phần quang và tối thiểu hóa plasma laze gây ra bởi các hiệu ứng “Quầng” trên nền in được mô tả. Do cả hai hiệu ứng tỷ lệ với cường độ đỉnh của nguồn laze, các nguồn laze công suất cao có thông lượng công suất nằm trong khoảng từ 20 kw trên xentimet vuông đến lớn hơn gigawatt trên xentimet vuông ở điểm sử dụng (ví dụ mặt phẳng in) đặc biệt dễ bị các thành phần quang làm hỏng và chịu các hiệu ứng plasma gây ra bởi laze. Theo một số phương án, các hiệu ứng quầng liên quan đến plasma có thể được khởi tạo từ hơi bay ra/các hạt mà được tạo ra từ vật liệu được ăn mòn/bay hơi từ bột (Fe,

Cr, Al, Co, Ti, Si, v.v...), cụ thể, từ các nguyên tố kim loại. Sự bay ra này của vật liệu bay hơi/dạng hạt từ bề mặt có thể xảy ra ở các tốc độ cao như vậy do laze gia nhiệt bột mà lượng đủ của vật liệu có thể vào vùng khí bên trên vùng được in, thậm chí trong khi laze vẫn đang cháy. Vật liệu được tạo ra có thể có độ hấp thụ cực cao của ánh sáng laze vẫn tới trên lớp xếp đang được in, và như vậy, nó siêu gia nhiệt, tạo ra plasma mà không chỉ tạo ra sóng nổ và hiệu ứng quang, mà còn bắt đầu phản xạ và phân tán năng lượng laze tới khác bất kỳ. Hiệu ứng loại bỏ này có thể làm giảm lượng năng lượng mà khiến nó in lên nền và có thể ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng của quy trình in bên trong lớp xếp. Độ dẫn nhiệt cao của khí xử lý cho phép khí nhanh chóng dẫn nhiệt được tạo ra khỏi quá trình gia nhiệt và làm nóng chảy bằng laze. Do đó độ dẫn nhiệt cao có mục đích dập tắt plasma trước khi sự giãn nở thể tích plasma duy trì và do đó tối thiểu hóa tác động cơ học của sóng xung kích mà đẩy xa các bột bao quanh. Độ dẫn nhiệt cao của khí xử lý cũng có tác dụng loại bỏ nhiệt khỏi bề mặt trên của lớp bột, do đó làm giảm độ chênh lệch nhiệt độ theo thẳng đứng trong lớp bột và cho phép sự gia nhiệt và làm nóng chảy lớp bột đồng đều hơn. Kết quả là, độ dẫn nhiệt cao hơn của khí xử lý lý tưởng khiến nhiều nhiệt hơn sẽ được truyền vào trong đế (tấm in hoặc lớp được in trước đó bên dưới lớp hiện tại) và do đó đưa nhiệt độ đế lên gần hơn với điểm nóng chảy mà không làm nóng chảy phần trên cùng của lớp bột hiện tại. Điều này tạo ra các điều kiện nhiệt có lợi để liên kết lớp bột với tấm đế hoặc lớp được in trước đó bên dưới lớp hiện tại.

Theo một số phương án, việc sử dụng khí kỹ thuật tạo ra môi trường trong khoang kín có tác dụng giảm bớt sự hình thành plasma và các vấn đề “Quầng”. Theo một số phương án, phần lớn các khí trơ bao gồm heli có thể cải thiện sự liên kết và hoạt động của sự dung hợp nền bột dựa trên quy trình sản xuất đắp dần bên trong các khoảng trị số nhiệt độ và áp suất được điều khiển.

Ngoài việc xử lý các loại khí, các điều kiện hoạt động như nhiệt độ có thể được sử dụng để nâng cao hơn nữa hệ số dẫn nhiệt hoặc truyền nhiệt mong muốn ra xa khỏi bề mặt lớp xếp. Ví dụ, trong trường hợp khí He kỹ thuật ở 1 bar (100 kPas), độ dẫn nhiệt có thể gấp đôi từ ~0,15 đến ~ 0,3 giữa 0 độ C và 600 độ C. Theo đó việc làm tăng áp suất cũng có thể giúp quy trình này bằng cách làm tăng hệ số truyền nhiệt và làm tăng lượng năng lượng được yêu cầu để di chuyển sóng nổ. Các nhiệt độ môi

trường khoang kín có thể được thiết lập nằm trong khoảng 20 độ Kelvin ($\sim -253^{\circ}\text{C}$) (tức là nhiệt độ thấp) và 5000 độ Kelvin ($4,726,85^{\circ}\text{C}$). Theo một số phương án, nhiệt độ môi trường của khoang kín có thể được đặt nằm trong khoảng 200 và 600 độ Celsius.

Sự điều chỉnh đối với các điều kiện hoạt động như áp suất có thể được sử dụng để nâng cao hơn nữa việc sản xuất đắp dần và làm giảm các hiệu ứng quầng. Môi trường trong khoang kín có thể được duy trì trong khoảng từ 0 đến 100 bar của áp suất tuyệt đối. Theo một số phương án, nhiệt độ môi trường của khoang kín thấp hơn áp suất môi trường. Theo một số phương án khác, nhiệt độ môi trường của khoang kín cao hơn áp suất môi trường. Trong quá trình sản xuất đắp dần, laze tương tác với vật liệu dạng bột và chất nền, và vật liệu bột được làm nóng chảy bắt đầu kết tụ. Quá trình này có khả năng bẫy các khe hở bong bóng khí trong vật liệu. Bằng cách làm giảm đủ áp suất của khí, các bong bóng này sẽ bắt đầu co lại, và cuối cùng tự sụp xuống, tạo ra vật liệu có tỷ trọng cao hơn trong quá trình làm nóng chảy. Trong một số trường hợp, quá trình này có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối nằm trong khoảng từ 0,5 bar (50 kPa) đến 1,0 bar (100 kPa), trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối nằm trong khoảng từ 0,25 bar (25 kPa) đến 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối 0,1 bar (10 kPa) và 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối 0,01 bar (1 kPa) và 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối 0,001 bar (0,1 kPa) và 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối 0,0001 bar (0,01 kPa) và 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối $1\text{E-}6$ bar (0,001 kPa) và 1,0 bar, trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối $1\text{E-}6$ bar và $1\text{E-}3$ bar (0,1 kPa), trong các trường hợp khác nó có thể xuất hiện ở áp suất tuyệt đối $1\text{E-}10$ bar ($1\text{E-}8$ kPa) và 1,0 bar.

Ngoài ra, các điều chỉnh đối với các điều kiện hoạt động như áp lực cao ở các nhiệt độ khác nhau có thể được sử dụng làm lợi chất lượng của các phần sau khi hoặc trong quy trình đắp dần. Trong lịch sử, quy trình nén đẳng tĩnh nhiệt (Hot Isostatic Pressing - HIP) được thực hiện sau khi một phần được xây dựng từ hoạt động sản xuất đắp dần, tuy nhiên có các lợi ích đáng kể để đưa vào trong quy trình này. Quy trình HIP có thể được thực hiện trong khoảng từ 500 bar (50 MPa) và 1000 bar (100 MPa),

và từ 400 đến 1500 độ C. Tuy nhiên, điều kiện đó không đủ để thực hiện một cách đơn giản quy trình in ở nhiệt độ cao và áp lực cao do quy trình HIP được dựa trên các túi khí nén xung quanh có áp suất thấp hơn. Để thực hiện điều này, áp suất cần được tuần hoàn ở các giai đoạn khác nhau của quy trình in. Quy trình in sẽ tiếp tục ở áp suất thấp, và sau đó sẽ tạm dừng một cách gián đoạn và áp suất sẽ được tăng ở nhiệt độ được nâng cao để dẫn ra khỏi các lỗ rỗng và các túi khí.

Cũng theo các phương án khác, các biến thể khác hoặc các phương pháp thay thế có thể bao gồm sự tái chu chuyển và tái tuần hoàn tại chỗ của khí xử lý kỹ thuật trong quy trình này, hoặc việc đưa vào môi trường khí xử lý trợ chỉ cục trong bộ trong buồng in nơi mà xảy ra việc chùm laze làm nóng chảy bột kim loại.

Theo cách thuận lợi, nhờ sử dụng các điều kiện hoạt động và khí được mô tả, sự hình thành và giãn nở thể tích plasma được hạn chế hoặc được tối thiểu hóa trong quy trình in. Sự di chuyển của bột và tác động cơ học lên các bột kim loại bao quanh (“Quầng”) đáp ứng với việc làm nóng chảy và dung hợp bằng chùm laze được tối thiểu hóa và có tác động không đáng kể lên sự tiếp tục của các phương diện của quy trình in đắp dần (ví dụ “đỉnh” cùng với các lớp xếp liền kề). Sự hình thành và sự giãn nở thể tích tối thiểu của plasma cũng có thể tối thiểu hóa tác dụng “chặn” hoặc “tán xạ” của plasma đối với chùm laze bên trên vùng in.

Độ dẫn nhiệt cao của khí xử lý chứa He kỹ thuật cũng giúp làm giảm độ chênh lệch nhiệt độ thẳng đứng trên chiều sâu của lớp bột kim loại và do đó tạo ra điều kiện gia nhiệt và nóng chảy đồng đều hơn. Điều đó cho phép sử dụng laze/các laze thông lượng công suất cao để gia nhiệt, làm nóng chảy và làm cứng các bột kim loại để liên kết với vật liệu cơ sở.

Fig.1A minh họa hệ lớp bột 100A trên mặt cắt ngang và mặt cắt trên trước khi đáp ứng với laze. Hình cắt 101, được lấy từ lát cắt 107, thể hiện lớp bột 103 chứa các lớp xếp có thể sẽ được in, tựa lên chất nền 102. Hình chiếu bằng 104 thể hiện hình vẽ của nhóm giống nhau của các lớp xếp từ bên trên. Trong ví dụ này, có bột ở vùng lớp xếp sẽ được in 106. Lớp xếp sẽ được in được bao quanh bởi bột để tạo nên các lớp xếp sẽ được in tiềm năng sau này 105.

Fig.1B minh họa hệ lớp bột 100B trên mặt cắt ngang và mặt trên tương ứng với chùm laze có thông lượng lớn hơn 20 megawatt (MW) trên xentimet vuông và thường

nằm trong khoảng từ 100 MW và 10 gigawatt (GW) trên xentimet vuông. Ở các mức thông lượng công suất này, các lượng laser đáng kể gây ra bởi plasma được tạo ở điểm sử dụng. Hình cắt 101, được lấy từ lát cắt 107, thể hiện lớp bột 103 chứa các lớp xếp có thể sẽ được in, tựa lên chất nền 102. Hình chiếu bằng 104 thể hiện hình vẽ của nhóm giống nhau của các lớp xếp từ bên trên. Trong ví dụ này, có lớp xếp 106, mà được in bằng laser 108. Lớp xếp đã được in được bao quanh bởi bột để tạo nên các lớp xếp sẽ được in tiềm năng sau này 105. Hơi được tạo ra từ bước gia nhiệt của bột được siêu gia nhiệt bằng laser 108, tạo ra sóng giãn nở của khí 109 để đẩy bột cũ theo lớp đồng đều thích hợp 103, ra khỏi khu vực “Quảng” 110 kế bên lớp xếp được in 106. Sự chuyển động của bột này khiến cho tiếp tục nhô lên các lớp xếp lân cận 112 vốn làm thay đổi chiều dày lớp của chúng. Sự di chuyển của bột từ khu vực “Quảng” 110 và quá trình nhô lên của bột ở các lớp xếp lân cận 112 gây ra các vấn đề in cho các lớp sau này.

Fig.1C minh họa hệ lớp bột 100C trên mặt cắt ngang và mặt cắt trên đáp ứng với chùm laser có thông lượng lớn hơn 20 MW trên xentimet vuông và thông thường nằm trong khoảng từ 100 MW và 10 GW trên xentimet vuông, trong môi trường phần lớn chứa heli, và sử dụng các dây xung laser được tạo hình dạng khác nhau như đã được mô tả chi tiết hơn đối với Fig.3 dưới đây. Hình cắt 101, được lấy từ lát cắt 107, thể hiện lớp bột 103 chứa các lớp xếp có thể sẽ được in, tựa lên chất nền 102. Hình chiếu bằng 104 thể hiện hình vẽ của nhóm giống nhau của các lớp xếp từ bên trên. Trong ví dụ này, có lớp xếp 106, mà được in bằng laser 108 trong môi trường phần lớn chứa heli 109. Lớp xếp đã được in được bao quanh bởi bột để tạo nên các lớp xếp sẽ được in tiềm năng sau này 105. Do hoạt động in được thực hiện nhờ sử dụng xung laser được tạo hình dạng, hơi được tạo ra từ sự gia nhiệt của bột không được siêu gia nhiệt bằng laser 108, sóng giãn nở của khí mà có sự tiềm ẩn để đẩy bột ra khỏi lớp đồng đều trước đó 103 được loại bỏ hầu hết hoặc hoàn toàn, cho phép bột 105 kế bên lớp xếp được in 106 sẽ được in ở những lần sau. Ngoài ra, lớp bột 103 không được tăng, ngăn các vấn đề ở các lớp sau này.

Theo các phương án được chọn, các lượng lớn hơn hoặc nhỏ hơn của heli hoặc các khí trơ khác có thể được sử dụng để cung cấp môi trường khí trong khoang kín sản xuất đắp dần. Ví dụ, Ar, He, Ne, Kr, Xe, CO₂, N₂, O₂, SF₆, CH₄, CO, N₂O, C₂H₂, C₂H₄,

C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , $i-C_4H_{10}$, C_4H_{10} , $1-C_4H_8$, $cis-2-C_4H_7$, $1,3-C_4H_6$, $1,2-C_4H_6$, C_5H_{12} , $n-C_5H_{12}$, $i-C_5H_{12}$, $n-C_6H_{14}$, C_2H_3Cl , C_7H_{16} , C_8H_{18} , $C_{10}H_{22}$, $C_{11}H_{24}$, $C_{12}H_{26}$, $C_{13}H_{28}$, $C_{14}H_{30}$, $C_{15}H_{32}$, $C_{16}H_{34}$, C_6H_6 , $C_6H_5-CH_3$, C_8H_{10} , C_2H_5OH , CH_3OH , iC_4H_8 có thể được sử dụng. Theo một số phương án, các chất làm lạnh hoặc các phân tử trơ lớn (bao gồm nhưng không bị giới hạn ở lưu huỳnh hexaflorua) có thể được sử dụng. Hợp phần khí trong khoang kín có ít nhất khoảng 1% thể tích He (hoặc tỷ trọng số), cùng với các thành phần phần trăm được chọn của các khí trơ/không phản ứng có thể được sử dụng. Theo một số phương án, nhiều hơn 1% He có thể được sử dụng, trong khi theo các phương án khác, nhiều hơn 10% He có thể được sử dụng, trong khi theo các phương án khác, nhiều hơn 20% He có thể được sử dụng, trong khi theo các phương án khác, nhiều hơn 40% He có thể được sử dụng, trong khi theo các phương án khác, nhiều hơn 80% He có thể được sử dụng, trong khi theo các phương án khác, nhiều hơn hoặc bằng 95% He có thể được sử dụng. Ngoài hợp phần của khí kỹ thuật, các khoảng trị số của nhiệt độ hoạt động và áp suất khí kỹ thuật cũng có thể được chọn để tối thiểu hóa sự hình thành plasma và cải thiện chất lượng in. Các phân tử phức tạp và các khí có khối lượng nguyên tử lớn có thể có các lợi ích liên quan đến việc có khối lượng lớn hơn và mang nhiều lực hoặc năng lượng hơn để di chuyển. Mặc dù các phân tử lớn hơn như lưu huỳnh hexaflorua có độ dẫn nhiệt thấp so với He (tương tự với Ar), nhưng khí đặc hơn nhiều và sẽ tác dụng đẩy ra các khí khác (O_2 , H_2O hơi, N_2 , v.v...) mà được tạo ra từ bột trong quy trình in mà gia nhiệt nó lên tới nhiệt độ nóng chảy của nó, và tạo ra sự thay đổi pha. Các khí nhẹ hơn này sẽ nổi một cách hiệu quả bên trên khí đặc hơn nhiều, và nhanh chóng loại bỏ chính chúng ra khỏi vùng xử lý. Ngoài ra, các phân tử phức tạp hơn có các chế độ lưu trữ năng lượng rung và quay mà các khí hiếm không có. Các chế độ năng lượng bổ sung này làm tăng sự gia nhiệt cụ thể của khí ở các nhiệt độ cao và sẽ giúp làm giảm khả năng ion hóa của khí bằng cách hấp thụ nhiều năng lượng hơn từ hơi kim loại xung quanh. Ngoài ra, trong trường hợp là SF_6 (lưu huỳnh hexaflorua) nếu phân tử khí trơ chính cần được phá vỡ (hoặc thông qua phá hủy plasma, hoặc thông qua tương tác với các gốc được tạo ra như O, C, H, OH, các kết hợp khác nhau, các kết hợp khác nhau bao gồm các loại từ hợp kim bột, v.v...) các gốc được tạo ra từ sự phá hủy sẽ giúp làm sạch khí được tạo ra trong quy trình in (O,

O₂, H, OH, H₂O, Fe, Cr, v.v...). Các khí khác nhau có thể được sử dụng để in các vật liệu khác nhau bằng cách thay đổi loại nguyên tử, tỷ trọng, hoặc nhiệt độ của khí.

Fig.2 minh họa hệ thống 200 trong đó chùm laze truyền tới 201 được định hướng trực tiếp đến nền bột bởi gương 211 để tạo ra chùm laze in 202. Phần không đáng kể của chùm truyền qua gương 211, đến bộ cảm biến thông lượng laze 205 để phát hiện thông lượng laze. Hệ thống thị kính 206 được tạo mục tiêu ở vùng in 203 trên chất nền để 204. Hình ảnh thu được bởi hệ thống thị kính 206 được truyền tới bộ xử lý máy tính 207. Bộ điều khiển 208 sử dụng kết quả của hoạt động xử lý hình ảnh để tạo ra các tín hiệu điều khiển để điều biến hình dạng, năng lượng, và định dạng của xung laze. Theo một phương án thực hiện sáng chế, lượng heli được cấp đến buồng in 210 từ buồng chứa heli 209 cũng có thể được điều biến, cũng như các điều chỉnh cho nhiệt độ môi trường buồng in.

Fig.3A đến Fig.3C minh họa các loại chung của các dạng sóng dạng xung đầu ra mà có thể được sử dụng để loại bỏ hoặc tối thiểu hóa sự hình thành plasma laze và hiệu ứng “Quầng” kết hợp của nó đối với quy trình in. Như thấy được đối với đồ thị 300A trên Fig.3A, xung vuông có thể được sử dụng, với chiều rộng và biên độ được tạo ra được đặt thấp hơn các yêu cầu ngưỡng làm hỏng laze trên các thành phần quang hệ thống laze và thấp hơn các ngưỡng plasma mà gây ra sự di chuyển bột không mong muốn và sự hình thành quầng.

Fig.3B minh họa đồ thị 300B có dãy xung được tạo hình với mức năng lượng tương đương với mức năng lượng được minh họa trên Fig.3A nhưng được chuyển dưới dạng chuỗi của các xung ngắn mà chiều rộng xung đơn lẻ của nó và khe hở xung có thể được điều chỉnh để làm giảm việc làm hỏng bằng laze và sự di chuyển bột. Ở các mức thông lượng laze nằm trong khoảng đầu ra từ 20 kW/cm² đến 10 GW/cm², dãy xung thường sẽ không sử dụng bộ dao động đơn giản (như bộ dao động được khóa chế độ), do hệ thống này sẽ có mức định thời và độ linh hoạt hình dạng xung không đủ để làm việc tin cậy mà không làm hỏng thành phần quang hoặc tạo ra plasma theo cách không cố ý. Việc cấp dãy xung đơn giản vào trong hệ thống khuếch đại tạo ra dãy xung được tạo hình dạng đỉnh (tức là các xung thứ nhất sẽ rất cao và các xung phía sau thấp). Điều này là do độ tăng bão hòa của độ lợi trong các bộ khuếch đại, với các xung thứ nhất vào trong bộ khuếch đại bão hòa làm mất năng lượng khả dụng.

Fig.3C là đồ thị 300C thể hiện xung được tạo hình (hoặc dãy xung) mà thay đổi biên độ của năng lượng đỉnh laze theo thời gian để cải thiện hiệu suất toàn bộ trong khi tối thiểu hóa việc làm hỏng bằng laze và làm giảm sự di chuyển bột.

Như được hiểu rằng, các cải thiện khác trong sự hoạt động của hệ thống do sự hoạt động xung laze được tạo hình có thể bao gồm việc giảm tới mức tối thiểu các yêu cầu năng lượng laze và/hoặc điều chỉnh các đặc tính vật liệu của các phần được in.

Khi hoạt động, các chiều dài xung có thể được điều chỉnh để đưa cường độ đỉnh xuống thấp hơn các ngưỡng làm hỏng quang đối với các thành phần quang với công suất giới hạn.

Các chiều dài xung có thể được điều chỉnh để đưa cường độ đỉnh ở nền bột thấp hơn các giới hạn hình thành plasma, cho phép việc in lớp xếp hai chiều được cải thiện.

Các khoảng chiều dài xung có thể được điều chỉnh cho các vật liệu cụ thể mà có sự hấp thụ laze khác nhau, điểm nóng chảy, và nhiệt dung hợp để tối thiểu hóa sự hình thành plasma laze mà làm giảm hiệu quả in do hiệu ứng “Quầng”.

Theo ví dụ khác về sự hoạt động được cải thiện, bột thép không gỉ của vỏ 316 (mà có điểm nóng chảy nằm trong khoảng từ 1371 đến 1399 độ Celsius) có thể được in với > 8 Joules trên xentimet vuông ở nền in với các chiều rộng xung > 200 nano giây trong môi trường heli ở nhiệt độ phòng. Theo cách thay thế, bột nhôm (mà có điểm nóng chảy thấp 659 độ Celsius) sẽ yêu cầu thông lượng thấp hơn để in nhưng do mật độ thấp của nó (khối lượng nhẹ trên hạt bột), hiệu ứng quầng sẽ được nhấn mạnh. Để làm giảm sự di chuyển bột, các chiều rộng xung dài > 200 nano giây có thể được sử dụng. Theo một ví dụ khác, bột vonfram (với điểm nóng chảy kim loại rất cao bằng 3399 độ Celsius) sẽ tối thiểu hóa sự hình thành plasma nhưng sẽ yêu cầu nhiều năng lượng để làm nóng chảy. Ngược lại, silic oxit được dung hợp, thành phần quang tiềm năng có điểm nóng chảy rất cao mà sẽ yêu cầu nhiều thông lượng laze nhưng có tỷ trọng tương đối thấp sẽ thu được từ các chiều dài xung rất dài > 500 nano giây để tránh các vấn đề quầng nghiêm trọng.

Các chiều dài xung có thể được điều chỉnh để cải thiện các đặc tính cơ học của phần được in hoàn thiện bằng cách thay đổi cách năng lượng được chuyển đến bột, và kiểm soát một cách hiệu quả sự phát triển nhiệt độ và theo đó kiểm soát các ứng suất và/hoặc các thuộc tính tinh thể học.

Fig.4 minh họa một ví dụ về hệ thống laze thông lượng cao 400 với khả năng tạo ra các dạng sóng được tạo xung tùy ý và thích ứng để tối thiểu hóa xác suất của việc làm hỏng bằng laze, làm giảm hoặc loại bỏ một cách hiệu quả hiệu ứng “Quầng” gây ra bởi plasma laze trong bột trên nền in, và điều chỉnh các đặc tính vật liệu hoàn thiện của các phần được sản xuất đắp dần. Nguồn laze được tạo xung tùy ý 401 có thể được xây dựng từ bộ tạo dạng sóng tùy ý được ghép nối với nguồn laze diot được ghép nối sợi. Các bộ tiền khuếch đại laze 402 và các bộ khuếch đại công suất 403 được sử dụng một cách hiệu quả theo định dạng đi qua nhiều lần, với năng lượng được lưu trữ và kích thước có thể điều chỉnh được để phù hợp với các yêu cầu hệ thống. Các rôto Faraday 404, các bộ cách ly Faraday và các ô Pockels 405 được sử dụng để giữ các phản xạ nhiễu âm không làm hỏng các phần năng lượng thấp của hệ thống và tối thiểu hóa năng lượng thất thoát để xuất ra xung. Các hệ thống chuyển tiếp và chụp ảnh laze 406 được sử dụng để tối thiểu hóa sự điều biến không gian laze và mở rộng chùm khi năng lượng tăng, giúp tránh làm hỏng laze và cho phép trích xuất năng lượng một cách hiệu quả. Đầu ra của hệ thống laze 407 có thể được định hướng tới động cơ in, và cuối cùng là tới nền bột.

Nguồn laze được tạo xung tùy ý 401 bao gồm nguồn tín hiệu xung điện như bộ tạo dạng sóng tùy ý hoặc thiết bị tương đương tác động lên nguồn laze liên tục như diot laze. Theo một số phương án thực hiện này có thể cũng được hoàn thành thông qua laze sợi hoặc nguồn laze được thực hiện bởi sợi mà sau đó được điều biến bởi bộ điều biến âm quang hoặc bộ điều biến quang điện tử. Theo một số phương án thực hiện, nguồn tạo xung tốc độ lặp cao mà sử dụng ô Pockels có thể được sử dụng để tạo ra dãy xung có chiều dài tùy ý.

Các môđun tiền khuếch đại khác nhau 402 được sử dụng để cung cấp độ lợi cao cho tín hiệu laze, trong khi các bộ điều biến và các bộ cách quang có thể được phân bố trong toàn bộ hệ thống để làm giảm hoặc tránh phá hỏng quang, cải thiện độ tương phản tín hiệu, và ngăn không phá hỏng các phần năng lượng thấp của hệ thống 400. Các bộ điều biến và các bộ cách ly quang 404 có thể bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở các ô Pockels, các rôto Faraday, các bộ cách ly Faraday, các bộ phản xạ âm quang, hoặc các cách tử Bragg thể tích. Các môđun tiền khuếch đại 402 có thể là các bộ khuếch đại được bơm diot hoặc được bơm đèn chớp và được cấu hình theo các kiến

trúc đơn và/hoặc đa luồng hoặc kiểu hốc. Như sẽ được hiểu đúng, thuật ngữ bộ tiền khuếch đại được sử dụng ở đây để chỉ định các bộ khuếch đại mà không bị giới hạn về nhiệt (tức là chúng nhỏ hơn) so với các bộ khuếch đại công suất 403 (lớn hơn). Các bộ khuếch đại công suất thường sẽ được bố trí là các cụm cuối cùng trong hệ thống laze và sẽ là các môđun thứ nhất dễ bị phá hỏng do nhiệt, bao gồm nhưng không bị giới hạn ở sự nứt vỡ do nhiệt hoặc sự hội tụ quá nhiệt.

Các môđun tiền khuếch đại 402 có thể bao gồm các bộ tiền khuếch đại đơn luồng có thể sử dụng được trong các hệ thống mà không quan tâm quá tới hiệu suất năng lượng. Đối với các hệ thống có hiệu suất năng lượng cao hơn, các bộ tiền khuếch đại đa luồng có thể được tạo cấu hình để tách nhiều năng lượng ra khỏi mỗi bộ tiền khuếch đại 402 trước khi đi đến giai đoạn tiếp theo. Số lượng các bộ tiền khuếch đại 402 được yêu cầu cho hệ thống cụ thể được xác định bởi các yêu cầu hệ thống và năng lượng được lưu trữ/độ lợi khả dụng trong mỗi môđun khuếch đại. Hoạt động khuếch đại đa luồng có thể được thực hiện thông qua sự ghép kênh kiểu góc hoặc sự chuyển đổi phân cực (ví dụ nhờ sử dụng các tấm sóng hoặc các rôto Faraday).

Theo cách thay thế, các bộ tiền khuếch đại 402 có thể bao gồm các kết cấu kiểu hốc với cấu hình kiểu khuếch đại tái sinh. Trong khi các kết cấu kiểu hốc này có thể giới hạn tối đa chiều dài xung do các yếu tố cơ học thông thường (độ dài của hốc), theo một số phương án thực hiện các hốc “ô trắng” có thể được sử dụng. “Ô trắng” là kiến trúc hốc đa luồng trong đó độ lệch góc nhỏ được bổ sung cho mỗi lần đi qua. Bằng cách bố trí đường dẫn vào và ra, hốc này có thể được thiết kế để có số lượng luồng cực lớn giữa đường dẫn vào và ra để cho phép sử dụng bộ khuếch đại với độ lợi và hiệu quả lớn. Một ví dụ về ô trắng là hốc đồng tiêu với các chùm được phun hơi lệch trục và các gương được nghiêng sao cho các phản xạ tạo ra mẫu hình dạng vòng trên gương sau nhiều luồng. Bằng cách điều chỉnh các góc phun và gương, số lượng luồng có thể được thay đổi.

Bộ khuếch đại công suất các môđun 403 cũng được sử dụng để cung cấp đủ năng lượng được lưu trữ để đáp ứng các yêu cầu năng lượng hệ thống, trong khi hỗ trợ việc quản lý nhiệt thích hợp để cho phép hoạt động ở tốc độ lặp lại được yêu cầu bởi hệ thống cho dù chúng được bơm điôt hay đèn chớp.

Biên độ không gian và thời gian của chùm laze được khuếch đại là khó kiểm soát. Gần như mỗi khía cạnh của hệ thống khuếch đại laze bao gồm các hiệu ứng bất lợi trên chùm laze bao gồm: quang sai, bởi các lỗi mặt đầu sóng do cảm ứng nhiệt, các dao động phần cứng, các thất thoát phân cực lưỡng chiết do nhiệt, độ lợi phụ thuộc nhiệt độ, sự can nhiễu của xung laze với chính nó, các phản xạ được khuếch đại từ các bề mặt bên trong laze, và nhiều thành phần khác. Tất cả các hiệu ứng này có xu hướng giảm dần tính đồng nhất theo không gian và/hoặc thời gian của chùm lan truyền. Nói chung, các ứng dụng laze yêu cầu độ đồng nhất và độ sáng cao. Một giải pháp là cố gắng loại bỏ tất cả các quang sai nêu trên ra khỏi hệ thống để đạt được chùm giới hạn nhiễu xạ mà sau đó có thể được tập trung vào vết rất nhỏ hoặc tạo ảnh cho vị trí chuyển. Đây là vấn đề rất khó mà thường dẫn tới hiệu quả thấp và trong trường hợp việc tạo ảnh vẫn thường tạo ra sự điều khiển biên độ không hoàn hảo. Khía cạnh khác là đồng nhất hóa chùm mà đạt được bằng cách khiến cho nhiều mẫu đáng kể của chùm và che phủ chúng ở trường gần. Phương pháp này bổ sung sự phân kỳ cho chùm và làm tăng khả năng đạt được kích thước vết tối thiểu nhưng mang lại lợi ích là đạt được các chùm biên dạng phía trên phẳng theo danh nghĩa ở trường gần hoặc trường xa theo mong muốn. Độ khó với phương pháp này là sự có mặt của “vết lõm đốm” laze mà về cơ bản là các đỉnh và đáy can nhiễu của tất cả các mẫu chùm. Vết lõm đốm này gây ra các vấn đề trong chính hệ thống laze khi các đỉnh cường độ có thể phá hỏng các thành phần quang, và cũng dẫn tới thông lượng không đồng đều ở điểm sử dụng laze để phơi sáng, cắt, hàn, nối, hoặc sản xuất đắp dần nhờ dung hợp nền bột.

Một số phương pháp để loại bỏ “vết lõm đốm” laze bằng cách “lắc” vết lõm đốm theo thời gian bao gồm làm lệch chùm (âm quang, quang điện tử, cơ học), các bộ biến điệu pha RF, và ghép kênh phân chia bước sóng. Ngoài ra, một có thể giảm dần sự liên kết theo không gian hoặc thời gian của chính chùm laze thông qua sự bổ sung của băng thông quang phổ, thành phần góc được tăng, và thậm chí bởi lực rất mạnh của nhiều nguồn không tương quan mà có thể cùng làm giảm dần độ tương phản của vết lõm đốm và cải thiện độ mạnh và hiệu quả của toàn bộ hệ thống laze.

Sự quản lý nhiệt của các bộ khuếch đại công suất có thể bao gồm nhiều phương án thực hiện cả theo dạng hình học của bộ khuếch đại (các thanh, các phiến, các đĩa), hướng làm nguội (làm nguội mép, làm nguội bề mặt), và phương tiện làm nguội (chất

rắn, chất lỏng hoặc khí dẫn điện). Theo một phương án thực hiện sáng chế, chất lưu làm nguội của các bề mặt truyền khuếch đại phiên có thể tạo ra phương pháp có thể điều chỉnh được để đạt được công suất trung bình cao. Một đặc tính của các hệ thống laze để in là sự quan trọng của độ đồng nhất và tính đồng nhất của laze ở mặt phẳng tạo ảnh máy in. Chất lưu có thể là loại bất kỳ mà trong suốt đối với bước sóng laze. Trong trường hợp mà bước sóng laze nằm trong khoảng từ 900 đến 1100nm, các chất lưu như dầu silicon, nước, nước chưng cất, các khí hiếm hoặc trơ (như heli), hoặc các khí khác như H_2 , N_2 , O_2 , hoặc CO_2 , có thể được sử dụng. Lợi ích được bổ sung của phương pháp làm nguội bằng khí là ở chỗ dòng khí chảy rối có thể cải thiện tính đồng nhất (làm giảm vết lốm đốm) của chùm laze bởi gây ra “vết lốm đốm” để di chuyển theo thời gian nhờ đó cải thiện hiệu suất in và bảo vệ các thành phần quang ở phía dưới khỏi các mật độ đỉnh cao vốn có thể gây ra việc làm hỏng laze.

Bộ khuếch đại công suất các môđun 403 có thể được tạo cấu hình theo các kiến trúc đơn luồng và/hoặc đa luồng hoặc kiểu hốc. Các môđun khuếch đại có thể bao gồm các bộ khuếch đại đơn luồng có thể sử dụng được trong các hệ thống mà không quan tâm quá tới hiệu suất năng lượng. Đối với các hệ thống có hiệu suất năng lượng cao hơn, các bộ khuếch đại đa luồng có thể được tạo cấu hình để tách nhiều năng lượng ra khỏi mỗi bộ khuếch đại trước khi đi đến giai đoạn tiếp theo. Số lượng các bộ khuếch đại được yêu cầu cho hệ thống cụ thể được xác định bởi các yêu cầu hệ thống và năng lượng được lưu trữ/độ lợi khả dụng trong mỗi môđun khuếch đại. Hoạt động khuếch đại đi qua nhiều lần có thể được thực hiện thông qua sự ghép kênh kiểu góc, sự chuyển đổi phân cực (các tấm sóng, các rôto Faraday).

Theo cách thay thế, các bộ khuếch đại công suất 403 có thể bao gồm các kết cấu kiểu hốc với cấu hình kiểu khuếch đại tái sinh. Như được mô tả đối với các môđun tiền khuếch đại 402, theo một số phương án thực hiện các hốc ô trống có thể được sử dụng cho bộ khuếch đại công suất 403.

Như được hiểu đúng, thông lượng laze và năng lượng có thể được lấy tỷ lệ theo kiến trúc này bằng cách bổ sung nhiều bộ tiền khuếch đại và bộ khuếch đại hơn với sự quản lý nhiệt thích hợp và sự cách ly quang.

Nhiều phương án cải biến và phương án khác của sáng chế sẽ là hiển nhiên đối với người có kiến thức trung bình trong lĩnh vực có lợi ích dựa vào các nguyên lý được

mô tả trong phần mô tả trên đây và các hình vẽ kèm theo. Do đó, có thể hiểu rằng giải pháp theo sáng chế không bị giới hạn ở các phương án cụ thể đã được bộc lộ, và rằng những phương án cải biến và các phương án cũng nằm trong phạm vi bảo hộ của các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo. Cũng cần hiểu rằng các phương án thực hiện khác của sáng chế có thể được thực hiện khi không có phần tử/bước mà không được bộc lộ một cách cụ thể ở đây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp sản xuất đắp dần (additive manufacturing) trong in 3D (three-dimensional), phương pháp này bao gồm các bước:
thực hiện thử nghiệm quang sơ bộ;
cung cấp nền bột;
định hướng đoạn xung chùm laze được tạo hình dạng bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 ở vùng hai chiều được tạo ra của nền bột; và làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định.
trong đó phương pháp còn bao gồm bước hiệu chuẩn bao gồm điều chỉnh ít nhất một trong số chùm năng lượng laze, độ rộng xung, hoặc diện tích của vùng hai chiều được xác định đáp ứng với diện tích được phát hiện của hiệu ứng quang tạo bởi thử nghiệm quang sơ bộ.
2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nhỏ hơn 10% khối lượng của các hạt bột trong nền bột được đẩy vào các diện tích bên ngoài vùng hai chiều được xác định.
3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó dãy xung chùm laze được tạo hình dạng được tạo ra bởi hệ thống bao gồm nguồn laze được tạo xung tùy ý, ít nhất một bộ tiền khuếch đại, và ít nhất một bộ khuếch đại công suất.
4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó thông lượng nằm trong khoảng từ 20 kW/cm^2 đến 10 GW/cm^2 ở nền bột.
5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vùng hai chiều được xác định của nền bột nằm trong khoảng từ $0,000025 \text{ cm}^2$ đến 1.000 cm^2 .
6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chiều dày của nền bột nằm trong một khoảng trong số các khoảng từ $1 \mu\text{m}$ đến $2000 \mu\text{m}$, khoảng từ $25 \mu\text{m}$ đến $250 \mu\text{m}$, và khoảng từ $50 \mu\text{m}$ đến $100 \mu\text{m}$.
7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bột được sử dụng $< 100.000 \mu\text{m}$ theo đường kính nhờ sử dụng cường độ laze được tạo xung $< 10 \text{ GW/cm}^2$ ở nền bột.

8. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bột được sử dụng có đường kính $< 500 \mu\text{m}$ có sử dụng cường độ xung $> 20 \text{ kW/cm}^2$ ở nền bột.

9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó độ rộng xung laze theo thời gian của dãy xung chùm laze được tạo hình dạng nằm trong khoảng từ 20 nano giây đến 100 micro giây.

10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó dãy xung laze được sử dụng với số lượng xung lớn hơn một.

11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó công suất đỉnh xung laze nguồn của dãy xung chùm laze được tạo hình dạng được điều chỉnh như hàm số của thời gian.

12. Phương pháp sản xuất đắp dần trong in 3D (three-dimensional), phương pháp này bao gồm các bước:

thực hiện thử nghiệm quang sơ bộ;

cung cấp nền bột;

định hướng đoạn xung chùm laze được tạo hình dạng bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 ở vùng hai chiều được tạo ra của nền bột; và làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định.

trong đó phương pháp còn bao gồm bước hiệu chuẩn mà bao gồm bước điều chỉnh ít nhất một trong số hình dạng xung, số lượng xung, hoặc công suất đỉnh xung như hàm số của thời gian đáp ứng với diện tích được phát hiện của quang mà được tạo ra bởi thử nghiệm quang sơ bộ.

13. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này còn bao gồm các bước:

thực hiện thử nghiệm quang sơ bộ;

cung cấp nền bột;

định hướng đoạn xung chùm laze được tạo hình dạng bao gồm một hoặc nhiều xung và có thông lượng lớn hơn 20 kW/cm^2 ở vùng hai chiều được tạo ra của nền bột; và làm nóng chảy và dung hợp bột bên trong vùng hai chiều được xác định.

trong đó phương pháp còn bao gồm bước phát hiện diện tích quang được tạo ra bởi thử nghiệm quang sơ bộ, với bán kính được phát hiện của diện tích quang được thiết lập lớn hơn 50 micron vượt quá vùng hai chiều được xác định.

1/6

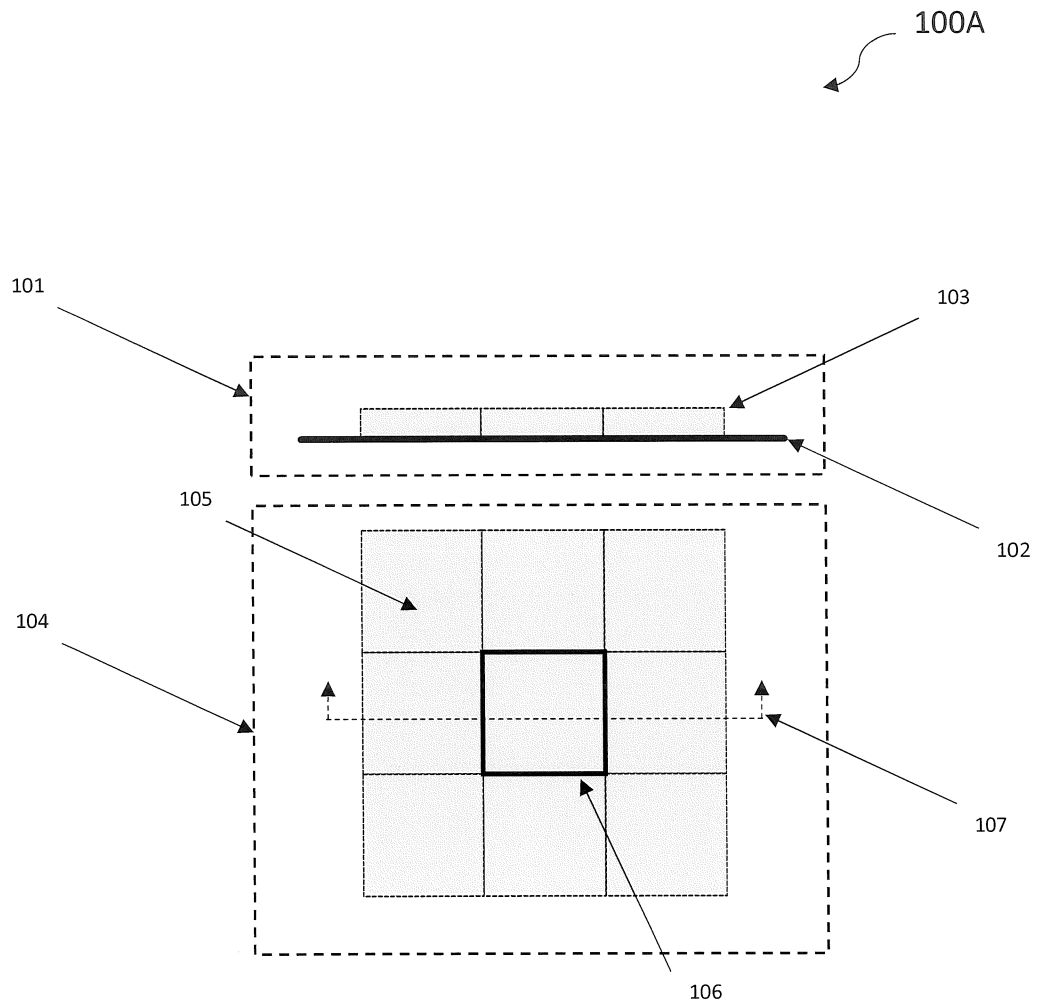


Fig. 1A

2/6

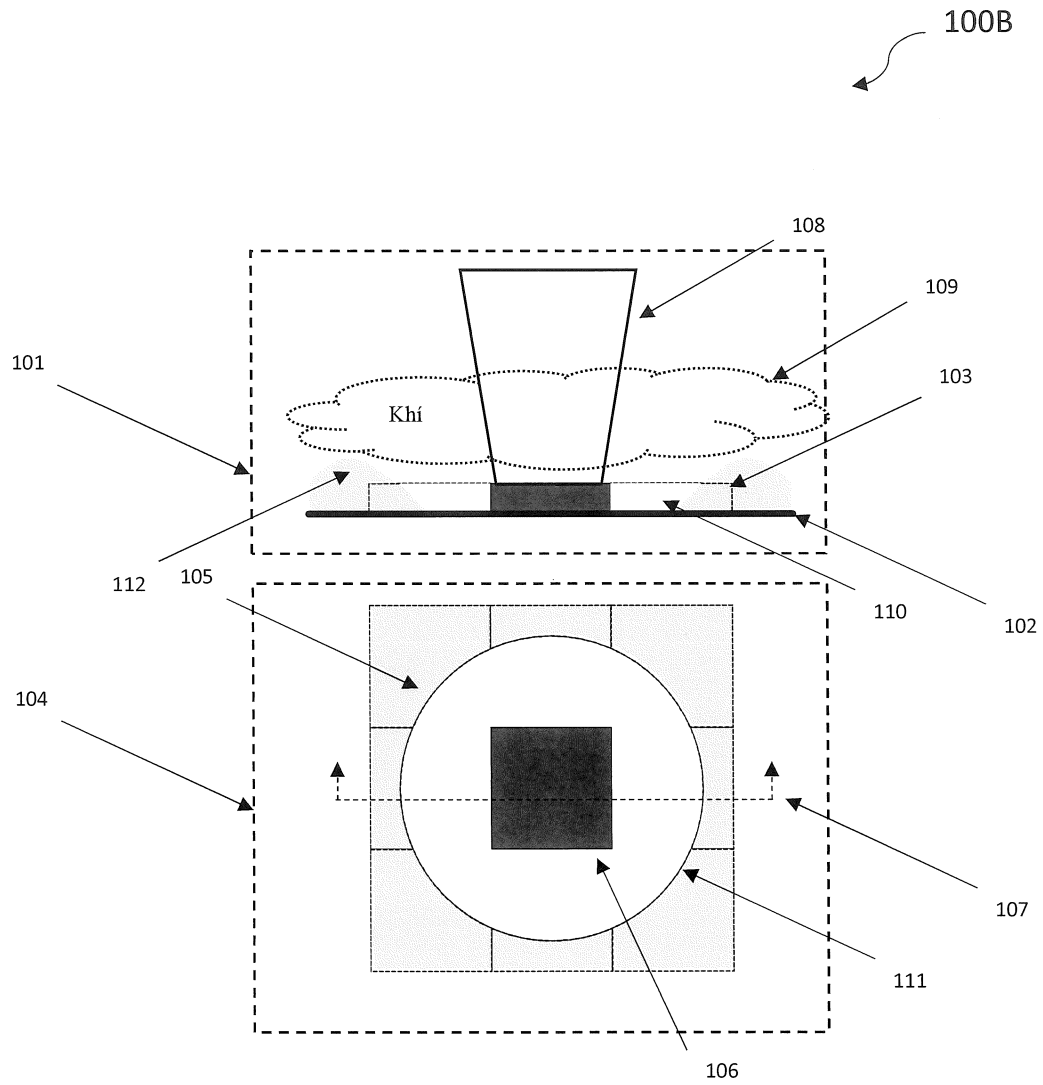


Fig. 1B

3/6

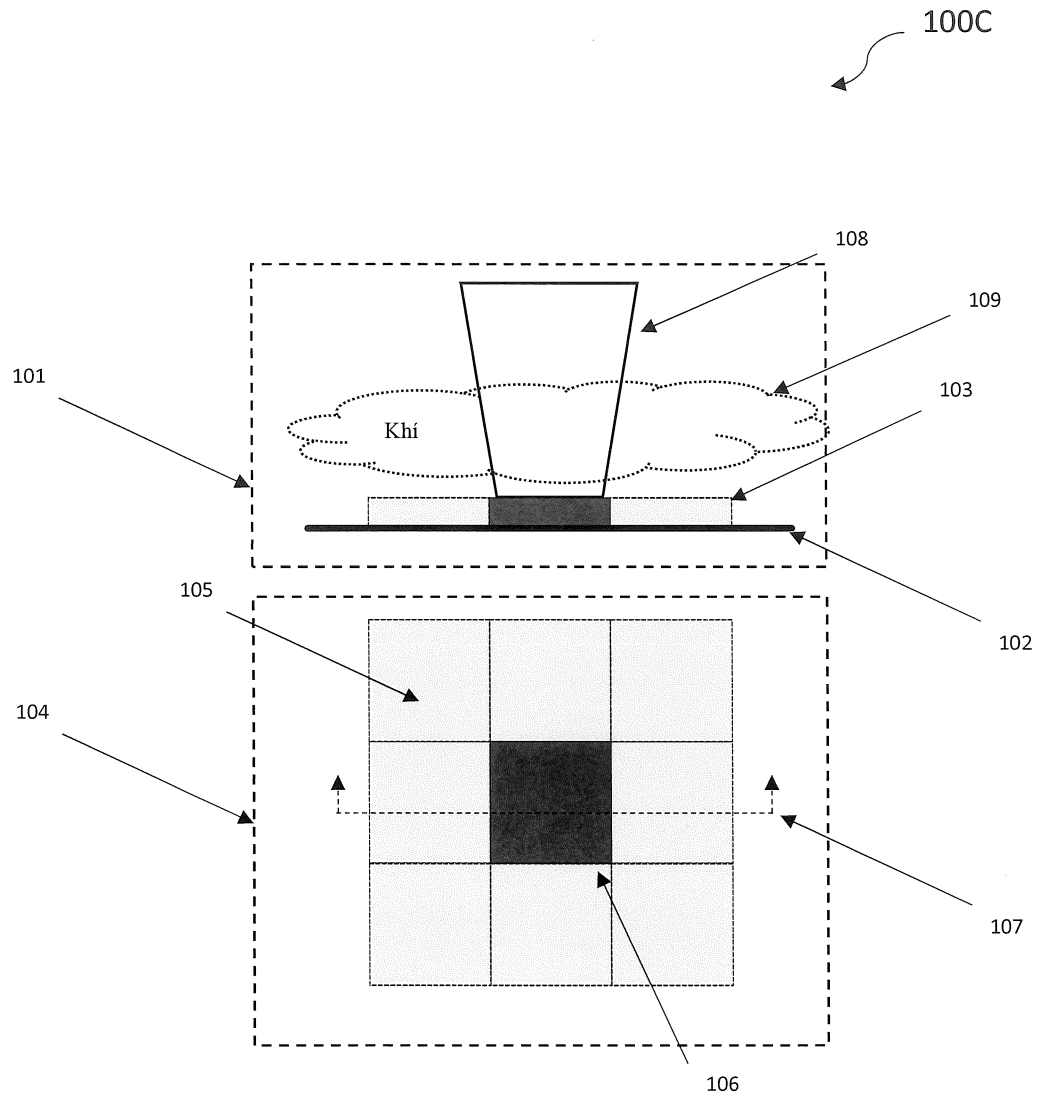


Fig. 1C

4/6

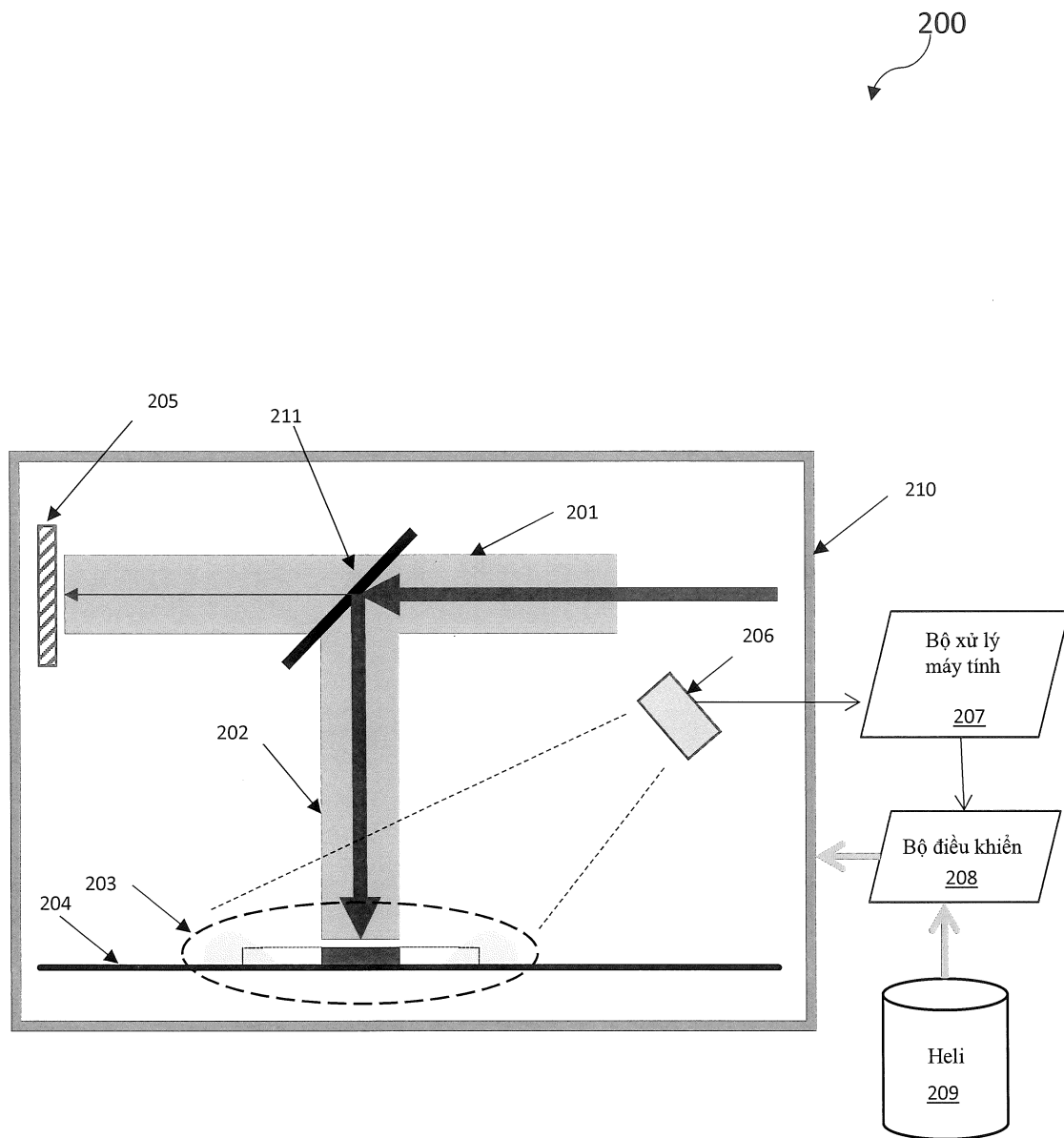
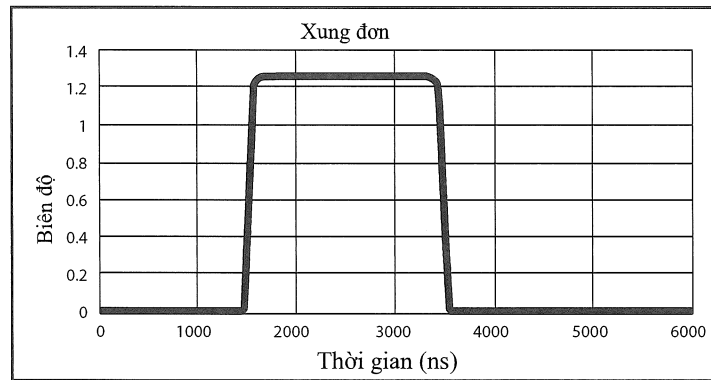


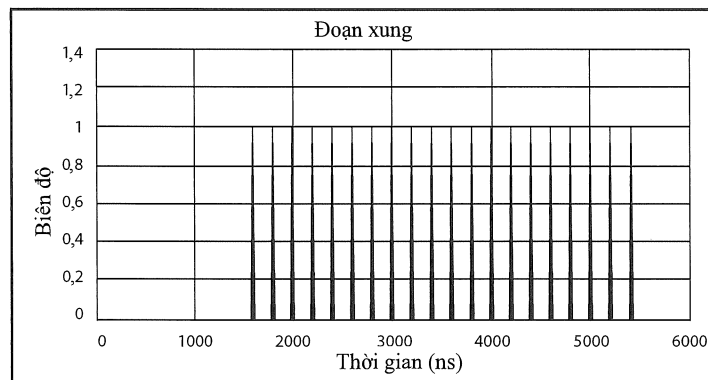
Fig. 2

5/6



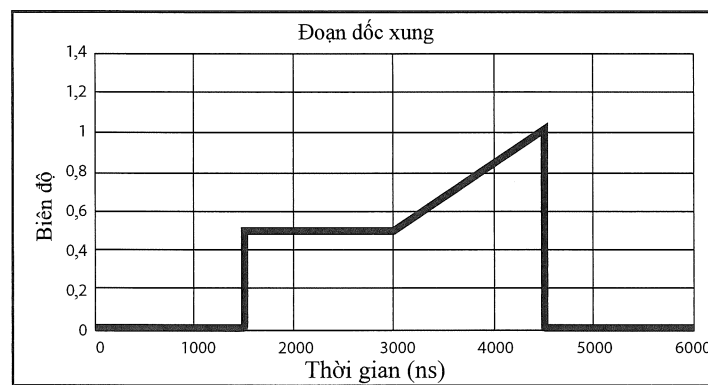
300A

Fig. 3A



300B

Fig. 3B



300C

Fig. 3C

6/6

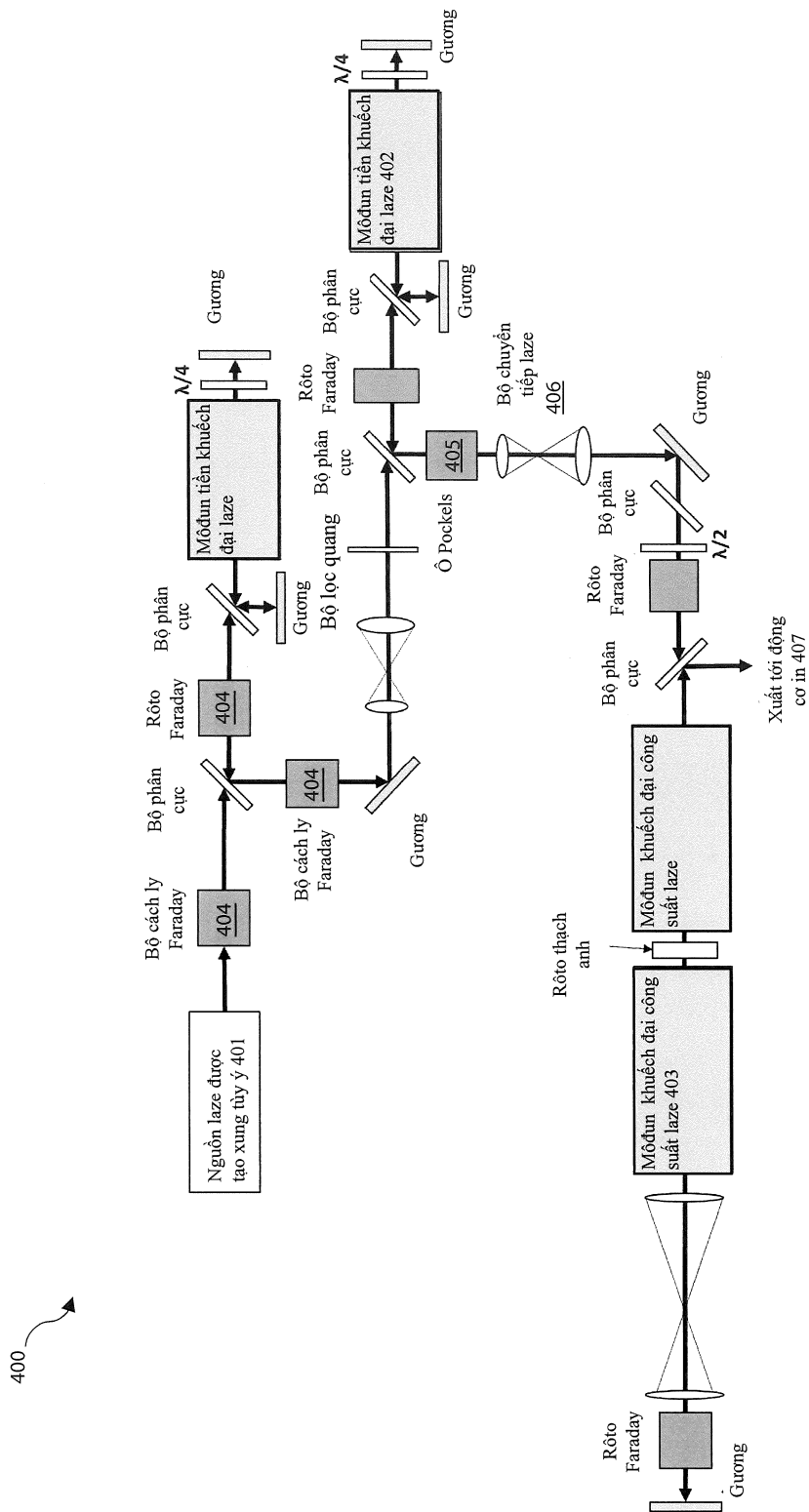


Fig. 4