

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902058639A1

Publication Date

20131211

Applicant

SKOCDOPOLLOVA LIBUSE

Title

UN APPARATO ED UN METODO PER LA GRENERAZIONE DI ELETTRONI E  
DI PLASMA DA UN GETTO DI GAS

DESCRIZIONE

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"UN APPARATO ED UN METODO PER LA GENERAZIONE DI ELETTRONI E DI PLASMA DA UN GETTO DI GAS"

DI LIBUSE SKOCDOPOLLOVA

Inventori designati: LIBUSE SKOCDOPOLLOVA

\* \* \*

SETTORE TECNICO

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo per la generazione di plasma, apparati comprendenti tale dispositivo e metodi utilizzanti tale dispositivo.

In particolare, vengono forniti un apparato ed un metodo per l'applicazione di uno strato di un materiale su un supporto ed un apparato ed un metodo per realizzare una saldatura.

CONTESTO DELL' INVENZIONE

Esistono diverse tipologie di dispositivi atti a fungere da sorgenti di elettroni e di plasma. Una parte di tali dispositivi sfrutta l'emissione di elettroni

indotta da un forte campo elettrico oppure l'emissione termica di un filo riscaldato (queste sorgenti possono essere identificate come "a effetto di campo" oppure "termo-emissive"). La generazione ed il trasporto del fascio elettronico avviene spesso in un ambiente in condizioni di ultra alto vuoto. In tal caso gli elettroni non subiscono urti con gli atomi del gas residuo e presentano uno spettro energetico molto stretto. Tuttavia la densità del fascio deve essere mantenuta relativamente bassa poiché è necessario che l'effetto di carica spaziale sia sufficientemente piccolo da non disperdere spazialmente ed energeticamente il pacchetto di elettroni con conseguente diminuzione dell'intensità e della monocromaticità. Un'altra famiglia di sorgenti di elettroni sfrutta un catodo "virtuale" basato sulla presenza di un plasma dalla cui superficie vengono emessi elettroni. La formazione di questo catodo di plasma richiede una pressione del gas residuo relativamente alta (fino a 0,1 mbar). In tal caso la propagazione del fascio elettronico è accompagnata dalla generazione di plasma secondario causato dagli urti degli elettroni contro gli atomi del gas residuo. Tali urti causano da un lato la dispersione dell'energia degli elettroni, dall'altro l'intensificazione del fascio elettronico tramite l'emissione secondaria di elettroni dagli atomi di gas.

La presenza del plasma secondario genera, inoltre, un effetto di schermo elettrostatico che consente al pacchetto elettronico di viaggiare compatto senza disperdersi spazialmente. Quindi il fascio elettronico, anche se energeticamente polidisperso, può avere una densità di carica decisamente più alta rispetto alla tipologia di sorgenti "a effetto di campo" oppure "termoemissive".

Le metodologie per la generazione di un catodo plasma come sorgente elettronica sono molteplici: si parla di "glow discharge" (ad esempio descritta in US7183564), "steady state DC discharge" (ad esempio descritta in H. Goktas, Hulya Kirkici, G. Oke, and M. V. Udrea, *Ieee Transactions On Plasma Science*, Vol. 30, No. 5, (2002), 1837; ed in Efim M. Oks and Peter M. Schanin; *Phys. Plasmas* 6, (1999), 1649), scarica ad arco (ad es. descritta in WO 2010/109297 A2), fino ad una specie di scarica di Penning (ad es. descritta in G. E. Ozur, S. A. Popov, V. F. Fedushchak, and A. V. Saushkin; *Technical Physics Letters*, Vol. 32, (2006), pp. 928-931), per citare almeno i principi di funzionamento di base. Anche la propagazione e moltiplicazione del fascio elettronico dal catodo all'anodo e oltre fino al bersaglio viene realizzata in diversi modi, dando origine a due principali classi di sorgenti elettroniche. In una prima classe il

fascio elettronico si propaga nello spazio libero sul "background" del gas residuo stazionario con la pressione equilibrata in tutto il volume della camera da vuoto contenente la sorgente di elettroni (H. Goktas, Hulya Kirkici, G. Oke, and M. V. Udrea, *Ieee Transactions On Plasma Science*, Vol. 30, No. 5, (2002), 1837; ed in Efim M. Oks and Peter M. Schanin; *Phys. Plasmas* 6, (1999), 1649). Nella seconda classe viene, invece, adoperato un capillare di materiale dielettrico per guidare il fascio elettronico. Tale capillare viene spesso riempito dal flusso di gas residuo ad una pressione più alta del resto della camera da vuoto, formando così gradiente di pressione e densità. Tale tecnica spesso viene definita "channel spark discharge" (US7183564; WO 2010/109297 A2; e G. E. Ozur, S. A. Popov, V. F. Fedushchak, and A. V. Saushkin; *Technical Physics Letters*, Vol. 32, (2006), pp. 928-931).

La prima classe di sorgenti può lavorare sia nel modo di emissione continuo, sia nel modo impulsato. La seconda classe, adoperando il capillare, è azionata quasi sempre nel modo impulsato per ovviare al potenziale problema del surriscaldamento dello stesso. Infatti, agendo sul "duty cycle" degli impulsi è possibile mantenere la potenza media trasmessa tramite il capillare relativamente bassa in modo da non danneggiarne la

superficie interna a causa del surriscaldamento.

Le sorgenti di elettroni con propagazione libera del fascio soffrono di problemi di indirizzamento e di dispersione del pacchetto elettronico. Invece, le sorgenti equipaggiate con il capillare sono limitate nell'energia media degli elettroni a causa dell'ablazione interna del capillare che determina, a sua volta, la contaminazione del materiale del bersaglio. Inoltre, dato che il capillare impone condizioni geometriche stringenti sulla forma della sorgente, il capillare stesso costituisce un ostacolo per uno "scaling-up" industriale del sistema.

Si noti, inoltre, che, quando vengono utilizzati capillari, il flusso di elettroni contiene impurità (derivanti dai capillari stessi) ed è necessaria una manutenzione e sostituzione periodica di questi componenti (i quali tengono a sporcarsi ed ad inibire la capacità del dispositivo di generare il fascio elettronico) con periodi di intervento anche molto brevi (da poche ore a pochi giorni).

Scopo della presente invenzione è quello di fornire un dispositivo per la generazione di plasma, apparati comprendenti tale dispositivo e metodi utilizzanti tale dispositivo, i quali permettano di superare, almeno parzialmente, gli inconvenienti dell'arte nota e siano,

nel contempo, di facile ed economica realizzazione.

Scopo ulteriore della presente invenzione è quello di fornire un dispositivo per la generazione di plasma, apparati comprendenti tale dispositivo e metodi utilizzanti tale dispositivo che presentino quanti più possibili dei vantaggi e quanti meno possibili degli svantaggi di ciascuna alternativa dello stato dell'arte.

#### SOMMARIO

Secondo la presente invenzione viene fornito un dispositivo per la generazione di plasma, un apparato comprendente tale dispositivo ed un metodo utilizzante tale dispositivo secondo quanto esplicitato nelle rivendicazioni indipendenti che seguono e, preferibilmente, in una qualsiasi delle rivendicazioni dipendenti direttamente o indirettamente dalla rivendicazione indipendente.

#### BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

L'invenzione viene di seguito descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano alcuni esempi d'attuazione non limitativi, in cui:

- la figura 1 illustra schematicamente e parzialmente in sezione un apparato che può essere utilizzato in un metodo in accordo con la presente invenzione;

- le figure 2-8 illustrano schematicamente e

parzialmente in sezione ulteriori forme d'attuazione dell'apparato della figura 1.

#### FORME D'ATTUAZIONE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con 1 viene indicato nel suo complesso un apparato per la deposizione di un materiale determinato. L'apparato 1 comprende un dispositivo 2 per la generazione di plasma (vale dire una ionizzazione almeno parziale di un gas rarefatto) e per dirigere un flusso di elettroni verso un bersaglio 3, il quale presenta (in particolare è costituito da) il materiale determinato, in modo che almeno parte del materiale determinato si separi dal bersaglio 3 e si depositi su un supporto 4.

Secondo alternative forme d'attuazione, il materiale determinato può essere composto da un unico materiale omogeneo o dalla combinazione di due o più materiali differenti.

Vantaggiosamente, il bersaglio 3 è collegato a massa. In questa maniera, il bersaglio 3 non respinge (ed anzi attrae) il flusso di elettroni anche quando gli elettroni hanno già colpito il bersaglio 3 stesso.

Il dispositivo 2 comprende un elemento cavo 5, il quale è atto a fungere da catodo e presenta (delimita esternamente) una cavità 6 interna. Il dispositivo 1 comprende anche un elettrodo di innesco 7, il quale

comprende (in particolare, è costituito da) un materiale elettricamente conduttivo (in particolare, metallico). L'elettrodo di innesco 7 è disposto all'interno della cavità 6 (delimitata dall'elemento cavo 5). In particolare, l'elemento cavo 5 comprende (più in particolare, è costituito da) un materiale elettricamente conduttivo (più in particolare, un materiale metallico). L'elettrodo d'innesco 7 comprende (più in particolare, è costituito da) un materiale elettricamente conduttivo (più in particolare, un materiale metallico).

In particolare, per materiale elettricamente conduttivo si intende un materiale che presenta una resistività elettrica (misurata a 20°C) inferiore a  $10^{-1}$  Ohm.m. Vantaggiosamente, il materiale elettricamente conduttivo presenta una resistività elettrica (misurata a 20°C) inferiore a  $10^{-3}$  Ohm.m.

Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento cavo 5 comprende (in particolare è costituito da) un materiale scelto nel gruppo consistente di: Tungsteno, Molibdeno, grafite pirolitica (ed una loro combinazione). Secondo alcune forme d'attuazione, l'elettrodo di innesco 7 comprende (in particolare è costituito da) un materiale scelto nel gruppo consistente di: Tungsteno, Molibdeno, acciaio inossidabile, rame, grafite pirolitica (ed una loro combinazione).

Secondo la forma d'attuazione illustrata nella figura 1, l'elettrodo di innesco 7 si estende attraverso una parete 8 dell'elemento cavo 5. Tra l'elettrodo di innesco 7 e la parete 8 è interposto un anello (non illustrato) di materiale elettricamente sostanzialmente isolante (in particolare teflon, vetro, quarzo, ceramica).

In particolare, per materiale elettricamente sostanzialmente isolante si intende un materiale che presenta una resistività elettrica (misurata a 20°C) superiore a  $10^3$  Ohm-m. Vantaggiosamente, il materiale elettricamente non-conduttivo presenta una resistività elettrica (misurata a 20°C) superiore a  $10^7$  Ohm-m (più vantaggiosamente, superiore a  $10^9$  Ohm-m). Secondo alcune forme d'attuazione, il materiale elettricamente sostanzialmente isolante è un materiale dielettrico.

Il dispositivo 2 comprende, inoltre, un resistore 10, il quale collega l'elettrodo di innesco 7 a massa e presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore 10 presenta una resistenza di circa 20kOhm.

Secondo ulteriori forme d'attuazione, invece del resistore 10 viene utilizzato un altro dispositivo elettronico avente funzione equivalente.

Vantaggiosamente, un condensatore 10a è disposto (in

parallelo al resistore 10) tra l'elettrodo di innesco 7 e massa. Il condensatore 10a presenta una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

All'interno della cavità 6 è presente un gas rarefatto. Secondo alcune forme d'attuazione, la cavità 6 contiene del gas rarefatto ad una pressione inferiore o uguale a  $5 \times 10^{-2}$  mbar (in particolare, inferiore a  $10^{-2}$  mbar). In particolare, il gas rarefatto contenuto all'interno della cavità 6 presenta una pressione maggiore o uguale a  $10^{-5}$  mbar (più in particolare, maggiore o uguale a  $10^{-4}$  mbar).

A questo riguardo, si noti che il dispositivo 2 comprende un sistema di regolazione P della pressione, il quale è atto a definire (mantenere) all'interno della cavità 6 la pressione sopra indicata. Vantaggiosamente, il sistema di regolazione P è atto a definire (mantenere) all'interno della cavità 6 una pressione maggiore rispetto all'esterno (camera esterna 45). In particolare, il sistema di regolazione P della pressione è atto a definire (mantenere) all'interno della cavità 6 una pressione almeno 10 volte (in alcuni casi, almeno 15 volte) maggiore della pressione all'esterno.

Più precisamente, all'esterno (in cui è presente è

presente un gas rarefatto - secondo alcune forme d'attuazione, anidro) viene mantenuta una pressione maggiore o uguale a  $10^{-6}$  mbar. In alcuni casi, all'esterno viene mantenuta una pressione inferiore o uguale a  $10^{-5}$  mbar.

Il sistema di regolazione P comprende un alimentatore di gas per alimentare il gas (vantaggiosamente, anidro) all'interno della cavità 6 (in modo da aumentarne la pressione rispetto all'esterno del dispositivo, comunque sempre al interno della camera di deposizione). In particolare, l'alimentatore di gas comprende un condotto 7' il quale entra nella cavità 6 ed una sorgente di pressione P' (ad esempio una pompa). Si noti che, nella forma d'attuazione illustrata, nella figura 1 il condotto 7' funge anche da elettrodo di innescio 7 (come sopra descritto). In altra parole, il condotto 7' e l'elettrodo di innescio 7 coincidono.

Secondo alcune forme d'attuazione, il sistema di regolazione P comprende una valvola ad apertura e chiusura veloce, tipicamente una valvola in grado di aprirsi e/o chiudersi in meno di 100 microsecondi, specialmente in meno di 500 nanosecondi.

Il gas presente nella cavità 6 ed all'esterno (nella camera esterna 45) è sostanzialmente lo stesso. Il gas è, vantaggiosamente, anidro.

Secondo alcune forme d'attuazione, il gas è sostanzialmente inerte.

In alcuni casi, il gas è scelto nel gruppo consistente di: ossigeno, azoto, argon, NO, elio, xenon, idrogeno (ed una loro combinazione).

Secondo alcune forme d'attuazione, il gas è costituito da Argon ed eventualmente ossigeno dallo 0% al 10% (in volume rispetto al volume complessivo del gas). Alternativamente il gas è costituito da Argon e fino all'1% (in volume rispetto al volume complessivo del gas) di un ulteriore elemento scelto nel gruppo consistente di: H<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>.

L'elemento cavo 5 presenta un'apertura 11 per mettere in comunicazione fluidica la cavità 6 con l'esterno.

Il dispositivo 2 comprende, inoltre, un canale di accelerazione 12 per accelerare il movimento di quanto contenuto nella cavità 6 attraverso l'apertura 11 verso l'esterno. Più precisamente, il canale di accelerazione è atto ad accelerare il contenuto della cavità 6 verso il bersaglio 3 (in particolare, verso un elemento di interazione 18).

Il canale di accelerazione 12 comprende almeno un tratto 13 rastremato (in modo continuo). In particolare, il tratto 13 è rastremato verso l'esterno.

Il canale di accelerazione 12 comprende anche un tratto 14 disposto a valle del tratto 13 rispetto alla cavità 6 (e all'apertura 11). Vantaggiosamente, tale tratto 14 è rastremato (in modo continuo) verso il tratto 13.

In altre parole, il canale di accelerazione 12 definisce un ugello di de Laval.

Secondo la forma d'attuazione illustrata, il tratto 13 è a forma sostanzialmente troncoconica. Il tratto 14 è a forma sostanzialmente troncoconica.

In particolare, il tratto 13 presenta una estremità 15 rivolta verso l'esterno (e quindi verso il tratto 14) con un'area di passaggio (ovvero lume ovvero sezione trasversale libera) di almeno circa  $14\text{mm}^2$ . Tale area di passaggio è fino a circa  $25\text{mm}^2$ . Più precisamente, tale area di passaggio è da circa  $17\text{ mm}^2$  a circa  $22\text{ mm}^2$  (in particolare, circa  $20\text{ mm}^2$ ).

Il tratto 13 presenta una estremità 16 rivolta verso la cavità 6 con area di passaggio di almeno  $300\text{ mm}^2$  (in particolare, almeno  $350\text{ mm}^2$ ). Tale area di passaggio è fino a circa  $2000\text{ mm}^2$ .

Il canale di accelerazione 12 è disposto tra la cavità 6 e l'esterno. In particolare, la cavità 6 è in comunicazione fluidica con l'esterno attraverso il canale di accelerazione 12.

Si noti che il canale di accelerazione 12 presenta una propria estremità (specificamente l'estremità 16) affacciata all'apertura 11.

Il dispositivo 2 comprende, inoltre, un gruppo di stabilizzazione 17, il quale, a sua volta, comprende un elemento di interazione 18, il quale è disposto esternamente all'elemento cavo 5.

L'elemento di interazione 18 comprende (in particolare, è costituito da) un materiale elettricamente conduttivo (metallico). Vantaggiosamente, tale materiale presenta un punto di fusione superiore a 1300°C.

Secondo alcune forme d'attuazione, tale materiale è scelto nel gruppo consistente di: acciaio (in particolare INOX), Tungsteno, Molibdeno, Cromo, grafite priolitica (ed una loro combinazione). In particolare, l'elemento di interazione 18 comprende (è costituito da) un materiale scelto nel gruppo consistente di: Tungsteno, Molibdeno, grafite priolitica (ed una loro combinazione).

Il gruppo di stabilizzazione 17 comprende, inoltre, un condensatore 19 elettricamente collegato all'elemento di interazione 18 ed a massa.

Il tratto 13 rastremato è rastremato verso l'elemento di interazione 18 (ed è atto ad accelerare il movimento di quanto contenuto nella cavità verso l'elemento di interazione 18).

Vantaggiosamente, il condensatore 19 presenta una capacità inferiore alla capacità di un condensatore (elettricamente) collegato all'elemento cavo 5. In particolare, tale condensatore presenta una capacità almeno doppia alla capacità del condensatore 19.

Più specificamente, il condensatore 19 presenta una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

Secondo alcune forme d'attuazione, invece del condensatore 19 viene utilizzato un altro dispositivo elettronico avente funzione equivalente e possibilmente stessa capacità.

Il gruppo di stabilizzazione comprende anche un resistore 20, il quale collega l'elemento di interazione 18 a massa. In particolare, il resistore 20 è disposto in parallelo al condensatore 19.

Secondo alcune forme d'attuazione, il resistore 20 presenta una resistenza di almeno 1 kOhm e, vantaggiosamente, fino a 1 MOhm. In particolare, il resistore 20 presenta una resistenza da circa 5 a circa 10 kOhm.

Secondo ulteriori forme d'attuazione, invece del resistore 20 viene utilizzato un altro dispositivo elettronico avente funzione equivalente e possibilmente

stessa resistenza.

L'elemento di interazione 18 presenta un canale di passaggio 18a la cui area di passaggio è maggiore (o al massimo uguale) dell'area di passaggio di una estremità 26 del canale di accelerazione 12 (in particolare, del tratto 14) opposta alla cavità 6 (ovvero all'apertura 11).

Il dispositivo 2 comprende, inoltre, un gruppo di attivazione 21 il quale è atto ad imporre una differenza di potenziale tra elemento cavo 5 ed elemento di interazione 18. Il gruppo di attivazione 21 è atto ad imporre una differenza di potenziale (anche) tra l'elemento cavo 5 e l'elettrodo d'innesto 7.

Secondo alcune forme d'attuazione, il gruppo di attivazione 21 è come il gruppo di attivazione descritto nelle domande di brevetto con numero di pubblicazione WO2010/109297, WO 2011/148251 e/o nelle domande PCTIT2011000301, PCTIB2011054182 (si veda in particolare, il gruppo d'attivazione 11 descritto in queste domande di brevetto).

In particolare, il gruppo di attivazione 21 è atto a fare diminuire (in particolare, partendo da un potenziale elettrico sostanzialmente pari a zero) il potenziale elettrico dell'elemento cavo 5 di almeno 2kV (in particolare, almeno 6 kV). Più precisamente, il gruppo

di attivazione 21 fa diminuire il potenziale elettrico dell'elemento cavo 5 di almeno 12kV (in particolare, almeno 18kV). Il gruppo di attivazione 21 fa diminuire il potenziale elettrico dell'elemento cavo 5 fino a 25kV (in particolare, fino a 24kV; più precisamente fino a 20kV). La diminuzione del potenziale elettrico dell'elemento cavo 5 avviene in meno di 1000 ns, particolarmente meno di 20 ns. In particolare, ciò avviene indirizzando un impulso di carica elettrica di almeno 0,16 mC (fino a 0,5 mC) verso l'elemento cavo 5 stesso. Vantaggiosamente, il gruppo di attivazione 21 è atto ad imporre all'elemento cavo 5 la diminuzione di potenziale in meno di 15 ns (più precisamente, in meno di 10 ns); in alcuni casi, in meno di circa 4 ns. In questo modo viene creato il plasma (all'interno dell'elemento cavo 5).

Pertanto, in uso, il gruppo d'attivazione 21 impone una differenza di potenziale tra l'elemento cavo 5 e l'elettrodo di innesto 7 secondo i parametri sopra descritti. In conseguenza di ciò, viene generato del plasma (vale dire una ionizzazione almeno parziale del gas rarefatto) all'interno della cavità 6.

Quando degli elettroni formati all'interno della cavità 6 entrano nel canale di accelerazione 12, la differenza di potenziale, che si è instaurata con

l'elemento di interazione 18, permette agli elettroni stessi di essere accelerati lungo il canale di accelerazione 12 verso il bersaglio 3. Questi elettroni, durante, il loro movimento, colpiscono ulteriori molecole di gas e determinano, pertanto, l'emissione di elettroni secondari che, a loro volta, vengono accelerati verso il bersaglio 3.

In aggiunta a ciò, si noti che il gas contenuto nella cavità 6 entra nel canale di accelerazione 12 (ugello di de Laval) e lo riempie. A questo punto, tale gas, attraversando il canale di accelerazione 12 (per la particolare configurazione geometrica del canale di accelerazione 12) viene accelerato. I gradi di libertà trasversali delle molecole di gas vengono trasformati nel moto parallelo all'asse del canale di accelerazione 12. La molecole attraversano l'elemento di interazione 18 (lungo il canale di passaggio 18a) e continuano il loro viaggio verso il bersaglio 3. Dato che il sistema si trova nelle condizioni a sinistra del minimo della curva di Paschen ([http://en.wikipedia.org/wiki/Paschen's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Paschen's_law)), la densità maggiore del gas nel getto di gas accelerato (nel canale di accelerazione 12) rispetto al volume adiacente causa la scarica elettrica preferenziale tra elemento cavo 5 (che funge da catodo) ed elemento di interazione 18 (che funge da anodo) all'interno del getto

stesso impedendo la scarica elettrica tra altre parti del sistema. In questo modo le parti del sistema vengono meno usurate ed il flusso di elettroni risulta con una quantità di impurità relativamente bassa. Inoltre, in questo modo non si innesca la scarica esternamente al dispositivo 1 (ovvero, esternamente al canale di accelerazione 12).

Il gas del getto viene ionizzato dalla scarica tra elemento cavo 5 ed elemento di interazione 18, gli elettroni ed il plasma propagano in questo spazio ed oltre elemento di interazione 18 verso il bersaglio 3. A questo punto, l'elemento di interazione 18 cambia ruolo fungendo da catodo (poiché nel frattempo la sua capacità parassita si è caricata completamente al potenziale catodico veicolato dal fronte di ionizzazione) ed il bersaglio 3 funge da anodo. Gli elettroni del plasma vengono accelerati dalla differenza del potenziale tra elemento di interazione 18 e bersaglio 3. Tali elettroni investono il bersaglio 3 causandone la fusione oppure la sua ablazione.

Poiché il bersaglio 3 funge da anodo, è vantaggioso che il bersaglio 3 stesso sia collegato a massa (con un conduttore adatto a sopportare impulsi di corrente elettrica elevate uguali o più alti di 1 kA). In questa maniera, il bersaglio 3 non respinge (ed anzi attrae) il

flusso di elettroni anche quando gli elettroni hanno già colpito il bersaglio 3 stesso. Inoltre, in questa forma di attuazione non è necessario che il bersaglio 3 sia costituito da materiale conduttivo, ovvero il bersaglio 3 può essere costituito da materiale isolante e/o dielettrico.

Vantaggiosamente il bersaglio 3 è collegato a massa senza l'interposizione di un resistore. In altre, parole il bersaglio 3 è collegato a massa con la minore possibile resistenza.

L'intensità e l'efficienza dell'impulso di elettroni accelerati sul bersaglio possono essere controllate sia alterando l'impulso del potenziale che viene fornito all'elemento cavo 5 sia modificando capacità del condensatore 19, pressione del gas, distanza tra il canale di accelerazione 12 ed il bersaglio 3.

Il dispositivo 2 comprende anche un elemento tubolare 22 (manicotto) in materiale sostanzialmente isolante (come sopra definito - tipicamente vetro). Tale elemento tubolare 22 permette di ottenere una stabilità strutturale tra elemento cavo 5 ed elemento di interazione 18. Secondo alcune forme d'attuazione non illustrate, l'elemento tubolare 22 è assente.

L'elemento tubolare 22 è in materiale sostanzialmente isolante (come sopra definito). Secondo

alcune forme d'attuazione, l'elemento tubolare 22 è in materiale dielettrico, vantaggiosamente vetro o ceramica.

Il dispositivo 2 comprende, inoltre, un gruppo di interfaccia operatore (di per sé noto e non illustrato), il quale permette ad un operatore di regolare il funzionamento (ad esempio l'azionamento e/o la modifica di parametri operativi) del dispositivo 2 stesso.

Quando si opera in modo da creare una sequenza di impulsi di elettroni, la frequenza degli impulsi deve essere scelta sulla base di diversi elementi tra i quali l'utilizzo che si intende fare (ad esempio se si intende fare un'ablazione ovvero una saldatura) e la tipologia di bersaglio 3 (ad esempio in considerazione del tipo di materiale di cui è fatto il bersaglio 3). In alcune situazioni, (il plasma viene generato ed) il flusso di elettroni viene diretto verso il bersaglio 3 con una frequenza di almeno 2 Hz (in alcuni casi, di almeno 30 Hz; più precisamente, di almeno 100 Hz).

La figura 2 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2'. Il dispositivo 2' differisce per aspetti di tipo geometrico (elementi corrispondenti di forma differente) dal dispositivo 2. Il dispositivo 2' presenta anche un elettrodo d'innesto 7 ed un condotto 7' tra loro differenti (vale a dire non coincidenti).

Inoltre, il dispositivo 2' è privo dell'elemento di interazione 18. Più precisamente, le funzioni svolte dall'elemento di interazione 18 vengono, in questo caso, svolte dal bersaglio 3. In altre parole, il bersaglio 3 e l'elemento di interazione 18 coincidono. Laddove (invece), nel dispositivo 2, l'elemento di interazione 18 ed il bersaglio differiscono tra loro (vale a dire non coincidono).

Vantaggiosamente (nel dispositivo 2'), il bersaglio 3 è elettricamente collegato a massa. Il bersaglio 3 (inoltre) è di materiale elettricamente conduttivo (come quello sopra definito per l'elemento di interazione 7). Vantaggiosamente il bersaglio 3 è collegato a massa senza l'interposizione di un resistore. In altre, parole il bersaglio 3 è collegato a massa con la minore possibile resistenza.

Il bersaglio 3 ed il collegamento a massa dovrebbero, vantaggiosamente, essere selezionati in modo da potere sopportare impulsi di corrente elettrica elevata (di 1 kA o superiore).

Il dispositivo 2' permette di dirigere con particolare precisione il flusso di elettroni verso specifici punti del bersaglio 3. In particolare, si noti che il flusso di elettroni disperde (trasversalmente - allarga) molto poco. Si ipotizza che ciò sia dovuto al

fatto che gli elettroni si muovano in una sorta di canale delimitato da ioni positivi tra l'elemento di accelerazione 23 ed il bersaglio 3.

Il dispositivo 2' è particolarmente utile nel caso in cui (invece di un'ablazione) si voglia ottenere una saldatura.

La figura 3 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2''. Il dispositivo 2'' differisce dal dispositivo 2' essenzialmente per il fatto che tra il canale di accelerazione 12 (in particolare, l'elemento di accelerazione 23) e l'elemento cavo 5 è disposto un elemento tubolare 24. L'elemento tubolare 24 è atto a mettere in comunicazione fluidica la cavità 6 ed il canale di accelerazione 12.

L'elemento tubolare 24, presenta due estremità 24a e 24b aperte ed un lume 24c interno (il quale mette in comunicazione fluidica la cavità 6 con il canale di accelerazione 12). L'elemento tubolare 24 ed il relativo lume 24c interno presentano rispettive sezioni trasversali sostanzialmente circolari.

L'elemento tubolare 24 è in materiale elettricamente isolante (come sopra definito). Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento tubolare 24 è in materiale dielettrico, vantaggiosamente vetro, quarzo o ceramica.

E' stato sperimentalmente osservato che la densità degli elettroni, che vengono generati all'interno del sistema elemento cavo 5 - elemento di accelerazione 23 e che vengono trasportati dal getto di gas verso il bersaglio 3, dipende dalla densità del plasma creato all'interno dell'elemento cavo 5. Tale densità è controllata da diversi parametri (ad esempio: la pressione del gas all'interno della cavità 6, la corrente elettrica fornita al plasma generato, la differenza di potenziale che genera il plasma ecc.), ma può essere controllata ulteriormente dalla geometria della colonna di plasma all'interno del dispositivo stesso.

Introducendo l'elemento tubolare 24 la geometria della colonna del plasma (la lunghezza e la sezione) definisce l'induttanza del plasma e, quindi, il valore massimo della corrente elettrica portata all'interno della sorgente del plasma. La corrente, invece, definisce la temperatura e la densità del plasma da cui deriva la quantità di elettroni estratti dal plasma e forniti dalla sorgente.

Quindi, modificando la lunghezza ed la sezione trasversale (il diametro) dell'elemento tubolare 24 (più precisamente del relativo lume 24c) è possibile regolare la corrente (in altre parole, il flusso di elettroni; ovvero il numero di elettroni per unità di tempo) in

uscita dal canale di accelerazione 12. Più precisamente, minore è l'area di passaggio all'interno dell'elemento tubolare 24 (vale a dire maggiore è la sezione trasversale del lume 24c), minore è la corrente (maggiore è la resistenza e l'induttanza); più corto è l'elemento tubolare 24, maggiore è la corrente (minore è la resistenza e l'induttanza).

La possibilità di regolare (in particolare, incrementare) la corrente in uscita dal canale di accelerazione 12 in modo semplice (modificando le dimensione dell'elemento tubolare 24) rappresenta un rilevante vantaggio rispetto allo stato dell'arte.

La figura 4 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2<sup>v</sup>. Il dispositivo 2<sup>v</sup> (si differenzia dal dispositivo 2' per il fatto che esso) comprende un elemento di interazione 18 (in aggiunta al bersaglio 3). L'elemento di interazione 18 presenta il canale di passaggio 18a ed è in comunicazione fluidica con l'elemento di accelerazione 12. Il canale di passaggio 18a presenta una propria estremità 25 di entrata affacciata ad una estremità 26 di uscita del canale di accelerazione 12. L'estremità 26 è opposta all'estremità 16.

L'elemento di interazione 18 presenta, inoltre, una

camera 27 interna, la quale è in comunicazione fluidica con il canale di passaggio 18a ed è delimitata lateralmente da almeno una parete 28. La camera interna 27 presenta due estremità 29 e 30 aperte. In particolare, la camera interna 27 si estende tra le estremità 29 e 30 in una direzione trasversale alla direzione in cui si estende il canale 18a di passaggio. Si noti che la superficie del bersaglio 3 rivolta verso l'elemento di interazione 18 è sostanzialmente perpendicolare alla direzione in cui la camera 27 si estende tra le estremità 29 e 30.

Secondo alcune forme d'attuazione, la camera 27 interna presenta una forma sostanzialmente cilindrica.

Secondo la forma d'attuazione illustrata, il dispositivo 2' <sup>v</sup> comprende anche un elettrodo supplementare 31. Vantaggiosamente, l'elettrodo supplementare 31 è collegato a massa. In particolare, l'elettrodo supplementare è collegato a massa tramite un resistore R. Tipicamente questo resistore R presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore R presenta una resistenza di circa 20kOhm.

Vantaggiosamente, l'elettrodo supplementare 31 presenta un passaggio interno 31' delimitato lateralmente. In uso, il flusso di elettroni si muove

attraverso il passaggio interno 31'. In particolare, l'elettrodo supplementare presenta una forma sostanzialmente anulare.

In particolare, il bersaglio 3 è collegato direttamente a massa tramite un conduttore a resistenza più bassa possibile. Vantaggiosamente, in tutte le forme d'attuazione illustrate, il bersaglio 3 è collegato a massa senza l'interposizione di un resistore. In altre, parole il bersaglio 3 è collegato a massa con la minore possibile resistenza.

Secondo forme d'attuazione non illustrate, l'elettrodo supplementare 31 è assente. In questi casi, il bersaglio 3 è collegato a massa (direttamente) (senza l'interposizione di resistori).

Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento di interazione 18 è collegato a massa. In particolare, l'elemento di interazione 18 è collegato a massa attraverso un resistore 32 (o mezzi equipollenti). Tipicamente questo resistore 32 presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore 32 presenta una resistenza di circa 20kOhm.

Vantaggiosamente, sono inoltre presenti mezzi capacitivi 33 (in particolare, un condensatore). Tali mezzi capacitivi 33 sono collegati in parallelo al

resistore 32. Tipicamente, i mezzi capacitivi 33 presentano una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

Vantaggiosamente (in particolare, per garantire una stabilità meccanica), l'elemento di accelerazione 23 e l'elemento di interazione 18 sono tra loro collegati mediante un elemento tubolare 22 come sopra definito. Secondo alcune forme d'attuazione, non è presente tale elemento tubolare 22.

In uso, il plasma e gli elettroni vengono prodotti dall'interazione dell'elemento cavo 5 (il cui potenziale viene fatto repentinamente diminuire, come precedentemente specificato per il dispositivo 2) con l'elettrodo d'innesto 7. Il plasma e gli elettroni vengono portati (anche) grazie al canale di accelerazione 12 verso l'elemento di interazione 18. A questo punto, il sistema costituito dall'elemento di interazione 18 e dall'elettrodo supplementare 31 (e/o il bersaglio 3) funge da estrattore di elettroni e da acceleratore che accelera gli elettroni e li porta verso il bersaglio.

Il fatto di avere la camera 27 che si estende in direzione trasversale rispetto alla direzione di uscita degli elettroni (e del plasma) dalla cavità 6, permette

di fare incidere il flusso di elettroni con una direzione ottimale (tipicamente perpendicolarmente) rispetto al bersaglio 3. Sulla base di quanto detto, l'efficienza dell'impatto del flusso di elettroni sul bersaglio 3 viene migliorata.

Inoltre, in uso, la piuma 36 costituito da materiale ablaso (la piuma 36 è illustrata schematicamente nelle figure da 5 a 10) propaga in una direzione perpendicolare alla superficie del bersaglio 3 attraverso le estremità 29 e 30 aperte verso il supporto 4. Anche in questo caso si migliora notevolmente la qualità e l'efficienza della deposizione. In tal modo il materiale della piuma, propagandosi attraverso la camera dell'elemento di interazione 18, viene ri-processato dal plasma presente nella suddetta camera. Questo effetto incide positivamente sulla qualità della deposizione, precisamente incide (diminuendone il valore) sulla granulometria del materiale depositato.

La figura 5 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2<sup>v</sup>. Il dispositivo 2<sup>v</sup> (si differenzia dal dispositivo 2<sup>v</sup> per il fatto che esso) comprende un ulteriore gruppo di attivazione 21' collegato all'elemento di interazione 18. La struttura ed il funzionamento del gruppo di attivazione 21' sono analoghi

a quelli del gruppo di attivazione 21. Tuttavia il gruppo di attivazione 21' è atto ad imporre un potenziale negativo all'elemento di interazione 18 inferiore in valore assoluto al potenziale negativo che il gruppo di attivazione 21' è atto ad imporre all'elemento cavo 5.

In uso, l'elemento di interazione 18 viene portato al potenziale negativo (sopra descritto con riferimento all'elemento cavo 5 per quanto riguarda la forma d'attuazione della figura 1) in modo continuo oppure impulsato (nel caso impulsato, l'impulso fornito all'elemento di interazione 18 deve essere sincronizzato con quello che viene fornito all'elemento cavo 5; in questo caso, i mezzi capacitivi 33 possono essere omessi). Il sistema lavora nella zona a sinistra del minimo della curva di Paschen e, quindi, il sistema è stabile rispetto ad un'autoaccensione della scarica principale. L'impulso del potenziale negativo alto sull'elemento cavo 5 accende la scarica elettrica tra tale catodo e l'elemento di interazione 18 (grazie alla presenza del canale di accelerazione 12) attraverso l'elemento tubolare 22 (l'elemento tubolare 22 serve principalmente per supportare la rigidità meccanica del sistema e può essere sostituito da spazio libero). Il plasma creato nella cavità 6 propaga verso l'elemento di interazione 18 e serve come iniziatore del processo di

creazione del plasma al interno dell'elemento di interazione 18. Gli elettroni contenuti al interno di tale plasma vengono estratti dalla differenza del potenziale tra l'elemento di interazione 18 e l'elettrodo supplementare 31. La resistenza tra l'elettrodo supplementare 31 e il potenziale di terra (massa) limita la corrente elettrica deviata dal flusso di elettroni indirizzato verso il bersaglio 3 tramite l'elettrodo supplementare 31 stesso. Tale resistenza causa l'aumento del potenziale negativo sull'elettrodo supplementare 31 durante la scarica elettrica tra l'elemento di interazione 18 ed il bersaglio 3. L'elettrodo supplementare 31 così diventa il catodo virtuale per il sistema costituito da elettrodo supplementare 31 - bersaglio 3. L'accelerazione degli elettroni avviene proprio nel gap tra l'elettrodo supplementare 31 ed il bersaglio 3. Gli elettroni ad alta energia abbandono il materiale del bersaglio e generano un getto esplosivo di plasma e di particelle del materiale neutro del bersaglio che propagano verso l'elemento di interazione 18 dove si incontrano con il plasma della scarica principale. L'interazione tra i due plasmi comporta un'ulteriore ionizzazione del plasma del bersaglio 3 e una disintegrazione e ionizzazione delle particelle del materiale neutro del bersaglio 3 (il quale è collegato a

massa direttamente - senza interposizione di resistori).

La figura 6 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2<sup>v'</sup>. Il dispositivo 2<sup>v'</sup> (si differenzia dal dispositivo 2<sup>v</sup> per il fatto che esso) non comprende il gruppo di attivazione 21 collegato all'elemento cavo 5. L'elemento cavo 5 è collegato a massa. In particolare, l'elemento cavo 5 è collegato a massa attraverso un resistore 34 (o mezzi equipollenti). Tipicamente questo resistore 34 presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore 34 presenta una resistenza di circa 20kOhm. Vantaggiosamente, sono inoltre presenti mezzi capacitivi 35 (in particolare, un condensatore). Tali mezzi capacitivi 35 sono collegati in parallelo al resistore 34. Tipicamente, i mezzi capacitivi 35 presentano una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

Inoltre, il dispositivo 2<sup>v'</sup> è privo del resistore 32 e dei mezzi capacitivi 33.

In questo caso, in uso, il processo di generazione di plasma e del flusso di elettroni comincia con l'arrivo dell'impulso del potenziale negativo all'elemento di interazione 18. Il canale di accelerazione 12 e la

differenza del potenziale tra l'elemento di interazione 18 e l'elemento cavo 5 spinge gli elettroni dalla camera 27 interna verso l'elemento cavo 5 e carica velocemente i mezzi capacitivi 35. A questo punto, all'interno dell'elemento di interazione 18 (nella camera 27) si crea un potenziale positivo rispetto alla parete 28 e si induce l'effetto del catodo cavo di amplificazione del numero di elettroni presenti (i mezzi capacitivi 35 sono già caricati al potenziale dell'elemento di interazione, pertanto gli elettroni non vengono più sottratti dall'elemento cavo 5). La differenza di potenziale tra l'elemento di interazione 18 e l'elettrodo supplementare 31 (si ricorda che, come detto relativamente alla forma d'attuazione della figura 4, l'elettrodo supplementare 31 è elettricamente collegato a massa attraverso un resistore come sopra definito) sottrae ed accelera gli elettroni generati al interno dell'elemento di interazione 18 verso il bersaglio 3 (il quale è direttamente collegato a terra).

Si noti che l'elemento d'interazione 18 e l'elemento cavo 6 fungono da elettrodi di innescio nelle forme d'attuazione delle figure 5 e 6, rispettivamente.

La figura 7 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2<sup>v''</sup>. Il dispositivo 2<sup>v''</sup> (si differenzia dal

dispositivo 2 per il fatto che esso) presenta l'elemento cavo 5 all'interno dell'elettrodo d'innesco 7. L'elemento cavo 5 presenta due estremità 5a e 5b aperte. L'elemento cavo 5 comprende, inoltre, una parete laterale 5c che delimita lateralmente cavità 6.

L'elettrodo d'innesco 7 presenta due estremità 7a e 7b aperte. L'elettrodo d'innesco 7 comprende, inoltre, una parete laterale 7c che delimita un passaggio 7d.

L'elemento cavo 5 (in particolare la parete laterale 5c) presenta almeno una (nel caso di specie quattro - di cui tre illustrate) apertura 37. L'apertura 37 mette in comunicazione fluidica il passaggio 7d con la cavità 6. In particolare, in uso, il flusso di elettroni passa attraverso le aperture 37. La differenza di potenziale indotta tra l'elemento cavo 5 e l'elettrodo d'innesco 7 determina la formazione di plasma nel flusso accelerato di gas in uscita dal canale di accelerazione 12 (che presenta una maggiore pressione - ciò in considerazione della curva di Paschen).

Nella forma d'attuazione illustrata, l'elemento cavo 6 presenta una forma sostanzialmente anulare (a sezione circolare). L'elettrodo di innesco 7 presenta una forma sostanzialmente anulare (a sezione circolare).

Vantaggiosamente, l'elemento cavo 6 e l'elettrodo d'innesco 7 sono sostanzialmente coassiali. In

particolare, l'estremità 5a e 5b aperte sono rivolte nella stessa direzione delle estremità 7a e 7b aperte, rispettivamente.

Inoltre, il canale di accelerazione 12 (e quindi l'elemento di accelerazione 23) è interposto tra l'alimentatore di gas (in particolare, il condotto 7') e l'elemento cavo 5. In particolare, il canale di accelerazione 12 (e quindi l'elemento di accelerazione 23) è interposto tra l'alimentatore di gas (in particolare, il condotto 7') e l'elettrodo d'innesto 7.

Il dispositivo 2<sup>v''</sup> comprende, inoltre, l'elemento d'interazione 18.

Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento d'interazione 18 è collegato a massa. In particolare, l'elemento d'interazione 18 è collegato a massa attraverso un resistore 41 (o mezzi equipollenti).

Il funzionamento del dispositivo 2<sup>v''</sup> è analogo a quello descritto per il dispositivo 2 e da questo si distingue (in aggiunta a quanto sopra già detto) sostanzialmente per il fatto che il flusso di elettroni dall'elemento cavo 5 al bersaglio 3 non passa attraverso il canale di accelerazione 12. Si noti che, in ogni caso, il flusso di elettroni passa attraverso l'elemento di interazione 18.

Benché il dispositivo 2<sup>v''</sup> possa funzionare anche

senza l'elemento di accelerazione 23, si è sperimentalmente osservato che la presenza del canale di accelerazione 12 migliora in modo sensibile il funzionamento del dispositivo 2<sup>v</sup>'' stesso.

La figura 8 illustra un'ulteriore forma d'attuazione del dispositivo 2 identificata con il numero di riferimento 2<sup>v</sup>'''. Il dispositivo 2<sup>v</sup>''' (si differenzia dal dispositivo 2<sup>v</sup>'' per il fatto che esso) non comprende l'elettrodo d'innesto 7 e non presenta le aperture 37.

Il dispositivo 2<sup>v</sup>''' comprende l'elemento cavo 5 presentante la cavità 6 e le due estremità 5a e 5b aperte. La cavità 6 è delimitata lateralmente dalla parete laterale 5c. L'elemento cavo 5 presenta una forma sostanzialmente cilindrica (cava). In particolare, l'elemento cavo 5 presenta una forma sostanzialmente anulare.

L'elemento cavo 5 è elettricamente collegato al gruppo di attivazione 21 (come sopra definito).

Il dispositivo 2<sup>v</sup>''' comprende, inoltre, un elemento tubolare 38 (il quale è atto a fungere da catodo di Penning, [http://en.wikipedia.org/wiki/Penning\\_trap](http://en.wikipedia.org/wiki/Penning_trap)).

Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento tubolare 38 è collegato a massa. In particolare, l'elemento tubolare 38 è collegato a massa attraverso un resistore 39 (o mezzi equipollenti). Tipicamente questo

resistore 39 presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore 34 presenta una resistenza di circa 20kOhm. Vantaggiosamente, sono inoltre presenti mezzi capacitivi 40 (in particolare, un condensatore). Tali mezzi capacitivi 40 sono collegati in parallelo al resistore 39. Tipicamente, i mezzi capacitivi 40 presentano una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

L'elemento tubolare 38 è disposto all'interno dell'elemento cavo 5 (in particolare della cavità 6). In particolare, l'elemento tubolare 38 è sostanzialmente coassiale all'elemento cavo 5.

Il dispositivo 2<sup>v'''</sup> comprende, inoltre, l'elemento d'interazione 18.

Secondo alcune forme d'attuazione, l'elemento d'interazione 18 è collegato a massa. In particolare, l'elemento d'interazione 18 è collegato a massa attraverso un resistore 41 (o mezzi equipollenti). Tipicamente questo resistore 41 presenta una resistenza di almeno 100 Ohm, vantaggiosamente di almeno 1 kOhm. In particolare, il resistore 34 presenta una resistenza di circa 20kOhm. Vantaggiosamente, sono inoltre presenti mezzi capacitivi 42 (in particolare, un condensatore).

Tali mezzi capacitivi 42 sono collegati in parallelo al resistore 41. Tipicamente, i mezzi capacitivi 42 presentano una capacità da 0,5 nF a 10 nF, vantaggiosamente da 1 nF a 5 nF. Secondo specifiche forme d'attuazione, il condensatore 19 presenta una capacità di circa 3 nF.

Il dispositivo 2<sup>v'''</sup> comprende, inoltre, il canale di accelerazione 12 (in particolare, l'elemento di accelerazione 23).

Il canale di accelerazione 12 (come sopra definito) è atto a spingere del gas anidro all'interno dell'elemento tubolare 38. Il canale di accelerazione 12 (e quindi l'elemento di accelerazione 23) è interposto tra l'alimentatore di gas (in particolare, il condotto 7') e l'elemento cavo 5 (in particolare, l'elemento tubolare 38).

Il dispositivo 2<sup>v'''</sup> comprende, inoltre, almeno una (nel caso di specie due) sorgente 44 di campo magnetico. In particolare, la sorgente 44 è atta a creare un campo magnetico in una direzione di attraversamento delle estremità 5a e 5b aperte. In particolare, il campo magnetico dovrebbe essere sostanzialmente parallelo all'asse dell'elemento di interazione 18. La sorgente 44 può essere un magnete permanente o un sorgente elettromagnetica (comprendente una bobina lungo la quale

viene fatta passare un corrente variabile).

La sorgente 44 produce il campo magnetico parallelo all'asse dell'elemento cavo 5.

Con l'arrivo dell'impulso del potenziale negativo all'elemento cavo 5 tramite il gruppo di attivazione 21 si crea un volume di plasma all'interno dell'elemento tubolare 38 (anodo di Penning) che si trova ad un potenziale leggermente più positivo del potenziale dell'elemento cavo 5, ma sostanzialmente più negativo del potenziale del anodo Penning creando un gradiente del potenziale elettrico e quindi un campo elettrico radiale (perpendicolare all'asse dell'elemento cavo 5). La sorgente 44 produce il campo magnetico parallelo all'asse dell'elemento cavo 5. Nei campi incrociati gli elettroni vengono accelerati radialmente dal centro del sistema verso l'anodo Penning effettuando una precessione intorno le linee del campo magnetico e producendo una forte ionizzazione del gas presente. Dal plasma creato tramite il processo summenzionato gli elettroni vengono sottratti tramite l'elemento di interazione 18.

Benché il dispositivo 2<sup>v'''</sup> possa funzionare anche senza l'elemento di accelerazione 23, si è sperimentalmente osservato che la presenza del canale di accelerazione 12 migliora in modo sensibile il funzionamento del dispositivo 2<sup>v''</sup> stesso.

L'apparato 1 comprende, dunque, almeno uno dei dispositivi 2-2<sup>v'''</sup> ed una camera esterna 45, all'interno della quale sono disposti il bersaglio 3 ed il supporto 4. Le condizioni (ad es. pressione e tipo di gas contenuto) presenti all'interno della camera esterna 45 sono quelle sopra descritte con riferimento all'esterno (del dispositivo 2).

Si noti inoltre, che, secondo un aspetto della presente invenzione viene fornito un metodo per l'applicazione del materiale determinato sul supporto 4. Il metodo comprende una fase di emissione, durante la quale almeno uno dei dispositivi 2-2<sup>v'''</sup> dirige un flusso di elettroni contro il bersaglio 3 presentante il materiale determinato in modo da asportare almeno parte del materiale determinato dal bersaglio 3 e dirigerlo verso il supporto 4.

Oltre ai vantaggi sopra riportati, tutte le forme di attuazione presentano diversi aspetti migliorativi rispetto allo stato dell'arte.

Si noti, in particolare, che il flusso di elettroni che viene ottenuto presenta una dispersione molto bassa (si diffonde, trasversalmente alla direzione di avanzamento, molto poco). Ciò oltre a migliorare la precisione permette di ottenere una maggiore concentrazione di energia in punti determinati (una

maggiore intensità). Si sottolinea, inoltre, che, benché in alcune forme d'attuazione venga tuttora proposta la presenza di un capillare in materiale dielettrico (tipicamente vetro), la presenza di tale elemento tubolare non è essenziale. I dispositivi proposti (2-2<sup>v'''</sup>) privi di capillari in vetro sono in grado di raggiungere (e anche superare) le prestazioni dei dispositivi attualmente dotati di tali capillari.

In altre parole, in accordo con quanto descritto è possibile evitare l'utilizzo di capillari in vetro. Ciò permette di:

- ridurre i costi di produzione (i capillari fino ad ora utilizzati presentano costi non trascurabili);
- ridurre la necessità di manutenzione (i capillari in vetro dovevano essere sostituiti con un certa frequenza, sia perché si sporcavano sia perché, essendo di un materiale relativamente delicato si usuravano e/o rompevano);
- aumentare la frequenza degli impulsi (e quindi dell'energia fornita al bersaglio 3 nell'unità di tempo - con capillari in vetro alte frequenze non sono raggiungibili poiché i capillari fonderebbero).

Come sopra indicato, quanto illustrato nelle figure allegate è relativo ad un apparato per la deposizione di un materiale determinato. Si noti, tuttavia che il

dispositivo 2-2<sup>v'''</sup> è adatto (anche grazie ai suoi vantaggi - sopra indicati - rispetto allo stato dell'arte) anche ad altri tipi di applicazioni. A questo riguardo, è importante sottolineare che il dispositivo 2-2<sup>v'''</sup> può essere utilizzato anche per effettuare delle saldature.

Pertanto, secondo un ulteriore aspetto della presente invenzione viene fornito un apparato per la saldatura. In questo caso, l'apparato è sostanzialmente uguale all'apparato 1 e da esso strutturalmente differisce sola per l'assenza del supporto 4 ed un diverso tipo di bersaglio 3.

In particolare, l'apparato per la saldatura comprende almeno uno dei dispositivi 2-2<sup>v'''</sup>, una camera esterna 45, ed bersaglio 3, il quale è disposto nella camera esterna 45 (e sul quale viene realizzata la saldatura).

Secondo un ulteriore aspetto della presente invenzione viene anche fornito un metodo per realizzare una saldatura sul bersaglio 3. Il metodo comprende una fase di emissione, durante la quale almeno uno dei dispositivi 2-2<sup>v'''</sup> dirige un flusso di elettroni contro il bersaglio 3 (presentante il materiale determinato) in modo da realizzare la saldatura.

A meno che non sia esplicitamente indicato il

contrario, il contenuto dei riferimenti (articoli, libri, domande di brevetto ecc.) citati in questo testo è qui integralmente richiamato. In particolare i menzionati riferimenti sono qui incorporati per riferimento.

## R I V E N D I C A Z I O N I

1.- Dispositivo per la generazione di plasma e per dirigere un flusso di elettroni verso un bersaglio (3); il dispositivo (2) comprende un elemento cavo (5), il quale presenta una cavità (6); un elemento di interazione (18) distinto dall'elemento cavo (6); un gruppo di attivazione (21), il quale è atto ad imporre una differenza di potenziale tra l'elemento cavo (6) e l'elemento di interazione (18) in modo da dirigere il flusso di elettroni verso l'elemento di interazione (18);

il dispositivo (2) essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un canale di accelerazione (12), il quale presenta almeno un tratto (13) rastremato ed è atto ad accelerare il movimento di quanto contenuto nella cavità (6); ed un sistema di regolazione (P) della pressione, il quale è atto a portare a monte del canale di accelerazione (12) una pressione maggiore rispetto ad una pressione a valle del canale di accelerazione (12) stesso nella direzione; opzionalmente il bersaglio (3) e l'elemento di interazione (18) coincidono.

2.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui il detto tratto (13) del canale accelerazione (12) presenta una area di passaggio che si riduce di almeno venti volte.

3.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1 o 2, in

cui il detto tratto (13) del canale di accelerazione presenta una estremità (15) rivolta verso l'elemento di interazione (18) con una area di passaggio da circa 14mm<sup>2</sup> a circa 25mm<sup>2</sup>.

4.- Dispositivo secondo una della rivendicazioni precedenti, in cui il canale di accelerazione (12) comprende (è) un ugello di de Laval.

5.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui l'elemento cavo (5) presenta un'apertura (11), per mettere in comunicazione fluidica la cavità (6) con l'esterno; il canale di accelerazione (12) essendo disposto tra l'elemento di interazione (18) e la cavità (6), in particolare, l'apertura (11), ed essendo atto ad accelerare il movimento di quanto contenuto nella cavità (6) attraverso l'apertura (11); il sistema di regolazione (P) di pressione essendo atto a portare all'interno della cavità (6) una pressione maggiore rispetto all'esterno; l'elemento di interazione (18) essendo disposto esternamente all'elemento cavo (5); il tratto (13) rastremato essendo rastremato verso l'elemento di interazione (18) ed essendo atto ad accelerare il movimento di quanto contenuto nella cavità verso l'elemento di interazione (18).

6.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, e comprendente un elettrodo di innesco (7),

il quale è almeno parzialmente disposto all'interno della cavità (6); il gruppo di attivazione (21) è atto ad imporre una differenza di potenziale tra l'elettrodo d'innesto (7) e l'elemento cavo (5) in modo che all'interno della cavità (6) vi sia uno sviluppo di elettroni; in particolare, il gruppo d'attivazione (21) è elettricamente collegato all'elemento cavo (5) ed è atto a fare diminuire il potenziale elettrico dell'elemento cavo (5) stesso di almeno 2kV in meno di 40ns.

7.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui la detta cavità (6) ed il detto canale di accelerazione (12) sono tra loro collegati, in particolare attraverso la detta apertura (11), a tenuta di fluido rispetto all'esterno.

8.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui il sistema di regolazione (P) della pressione comprende un alimentatore di gas, il quale è atto ad alimentare gas all'interno della cavità (6) ed a portare (mantenere) la pressione all'interno della cavità (6) stessa almeno 10 volte maggiore rispetto all'esterno, ed una valvola ad apertura e chiusura veloce, tipicamente in meno di 500 ns.

9.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, e comprendente un elemento di accelerazione (23), il quale delimita il canale di accelerazione (12)

ed è direttamente collegato all'elemento cavo (5); in particolare, l'elemento cavo (5) delimita il canale di accelerazione (12).

10.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 8, e comprendente un elemento di accelerazione (23), che delimita il canale di accelerazione (12) ed è collegato all'elemento cavo (5) con l'interposizione di un elemento tubolare (22) in materiale dielettrico.

11.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui l'elemento di interazione (18) presenta un canale di passaggio (18a), all'interno del quale, in uso, passa il flusso di elettroni; l'elemento di interazione (18) ed il bersaglio (3) differiscono tra loro.

12.- Dispositivo secondo la rivendicazione 11, in cui il canale di passaggio (18a) presenta una propria estremità (25) di entrata sostanzialmente affacciata ad una estremità (26) di uscita del canale di accelerazione (12); in particolare, il canale di passaggio (18a) ed il canale di accelerazione (12) essendo tra loro sostanzialmente coassiali.

13.- Dispositivo secondo la rivendicazione 11 o 12, in cui l'elemento di interazione (18) presenta una camera (27) interna in comunicazione fluidica con il canale di passaggio (18a) e delimitata lateralmente; la camera (27)

interna presentando due estremità (29, 30) aperte ed estendendosi tra le estremità (29, 30) aperte trasversalmente al canale di passaggio (18a).

14.- Apparato per la deposizione di un materiale determinato, l'apparato (1) comprende una camera esterna (45); un supporto (4), il quale è disposto nella camera esterna (45) e sul quale avviene la deposizione; ed un bersaglio (3) presentante il materiale determinato e disposto nella camera esterna (45);

l'apparato (1) essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un dispositivo (2; 2'; 2''; 2'''; 2''''; 2'v; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') come definito in una delle rivendicazioni precedenti, la cavità (6) del dispositivo e la camera esterna (45) essendo tra loro comunicanti; la camera esterna (45) contenendo del gas a pressione inferiore a  $10^{-3}$  mbar; il dispositivo (2; 2'; 2''; 2'''; 2''''; 2'v; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') essendo atto a dirigere un flusso di elettroni contro il bersaglio (3) in modo che almeno parte del materiale determinato sia asportato dal bersaglio (3) e si depositi sul supporto (4).

15.- Metodo per l'applicazione di un materiale determinato su un supporto (4), il metodo comprende una fase di emissione, durante la quale un dispositivo (2; 2'; 2''; 2'''; 2'v; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') secondo una delle rivendicazioni da 1 a 13 dirige un flusso di

elettroni contro un bersaglio (3) presentante il materiale determinato in modo da asportare almeno parte del materiale determinato dal bersaglio (3) e dirigerlo verso il supporto (4).

16.- Apparato e metodo per la saldatura a fascio elettronico di due o più parti, il metodo comprende una fase di emissione, durante la quale un dispositivo 2' secondo una delle rivendicazioni da 1 a 13 dirige un flusso di elettroni contro un bersaglio (3) costituito da due o più parti metalliche in modo da fondere parzialmente tali parti e in tal modo di saldarli.

p.i. Skocdopolova Libuse

C L A I M S

1. - The device for generating plasma and directing an electron beam towards a target (3); the device (2) comprises of a hollow element (5), which has a cavity (6); an element of interaction (18) separate from the hollow element (6); an activation group (21) whose purpose is to impose a potential difference between the hollow element (6) and the element of interaction (18) so as to direct the beam of electrons towards the element of interaction (18);  
the device (2) is characterized by comprising a channel of acceleration (12) which has at least one portion (13) tapered and whose purpose is to accelerate the movement of what is contained in the cavity (6); and a pressure regulation system (P), which has the purpose of carrying upstream of the acceleration channel (12) a pressure greater than the pressure downstream of the acceleration channel (12) in the same direction; optionally the target (3) and the element of interaction (18) are the same.

2. - Device according to claim 1, wherein the said portion (13) of the acceleration channel (12) has a passage area which is reduced by at least twenty times.

3. - Device according to claim 1 or 2, wherein the said portion (13) of the acceleration channel has an extremity

(15) directed toward the element of interaction (18) with a passage area of approximately 14mm<sup>2</sup> approximately 25mm<sup>2</sup>

.

4. - Device according to one of the preceding claims, where the acceleration channel (12) comprises (is) a de Laval nozzle.

5. - Device according to one of the preceding claims, wherein the hollow element (5) has an opening (11), to put in fluid communication the cavity (6) with the outside; the acceleration channel (12) being disposed between the element of interaction (18) and the cavity (6), in particular, the opening (11), and having the purpose of accelerating the movement of what is contained in the cavity (6) through the opening (11); the regulation system (P) of pressure with the purpose of bringing into the cavity (6) a pressure greater than that of the outside; the element of interaction (18) being arranged externally to the hollow element (5); the tapered portion (13) being tapered towards the element of interaction (18) and being designated to accelerate the movement of what is contained in the cavity towards the element of interaction (18).

6. - Device according to one of the preceding claims, and comprising a trigger electrode (7), which is at least

partially placed within the cavity (6); the activation group (21) is used to impose a potential difference between the trigger electrode (7) and the hollow element (5) so that inside the cavity (6) electrons are formed, in particular, the group of activation (21) is electrically connected to the hollow element (5) and is designed to decrease the electric potential of the hollow element (5) of at least 2kV in less than 40ns.

7. - Device according to one of the preceding claims, where the said cavity (6) and the said acceleration channel (12) are connected with one another, in particular through said opening (11), fluid-tight in relation to the outside.

8. - Device according to one of the preceding claims, where the adjustment system (P) of the pressure comprises a gas supply which is designated to supply gas within the cavity (6) and to create (maintain) the pressure inside the cavity (6) at least 10 times higher than that of the outside, and a fast-opening and -closing valve, typically in less than 500 ns.

9. - Device according to one of the preceding claims, and including an acceleration element (23), which delimits the acceleration channel (12) and is directly connected to the hollow element (5), in particular, the

hollow element (5) delimits the acceleration channel (12).

10. - Device according to one of the claims 1 to 8, and including an element of acceleration (23), which delimits the acceleration channel (12) and is connected to the hollow element (5) with the tubular element (22) of dielectric material interposed.

11. - Device according to one of the preceding claims, wherein the element of interaction (18) has a transition channel (18a), inside which, in use, the beam of electrons passes through, the element of interaction (18) and the target (3) differ from one another.

12. - Device according to claim 11, wherein the passage channel (18a) has one of its endings (25) as inlet essentially facing the outlet ending (26) of the acceleration channel (12), in particular, the transition of passage (18a) and the acceleration channel (12) being mutually essentially coaxial.

13. - Device according to claim 11 or 12, wherein the element of interaction (18) has an interior chamber (27) in fluid communication with the transition channel (18a) and delimited laterally; the interior chamber (27) has two open endings (29, 30) and extends between the

open endings (29, 30) transversely to the passage channel (18a).

14. - An apparatus for the deposition of a determined material, the apparatus (1) includes an outer chamber (45), a support (4), which is placed in the outer chamber (45) and on which the deposition takes place; and a target (3) having the determined material and placed in the outer chamber (45);

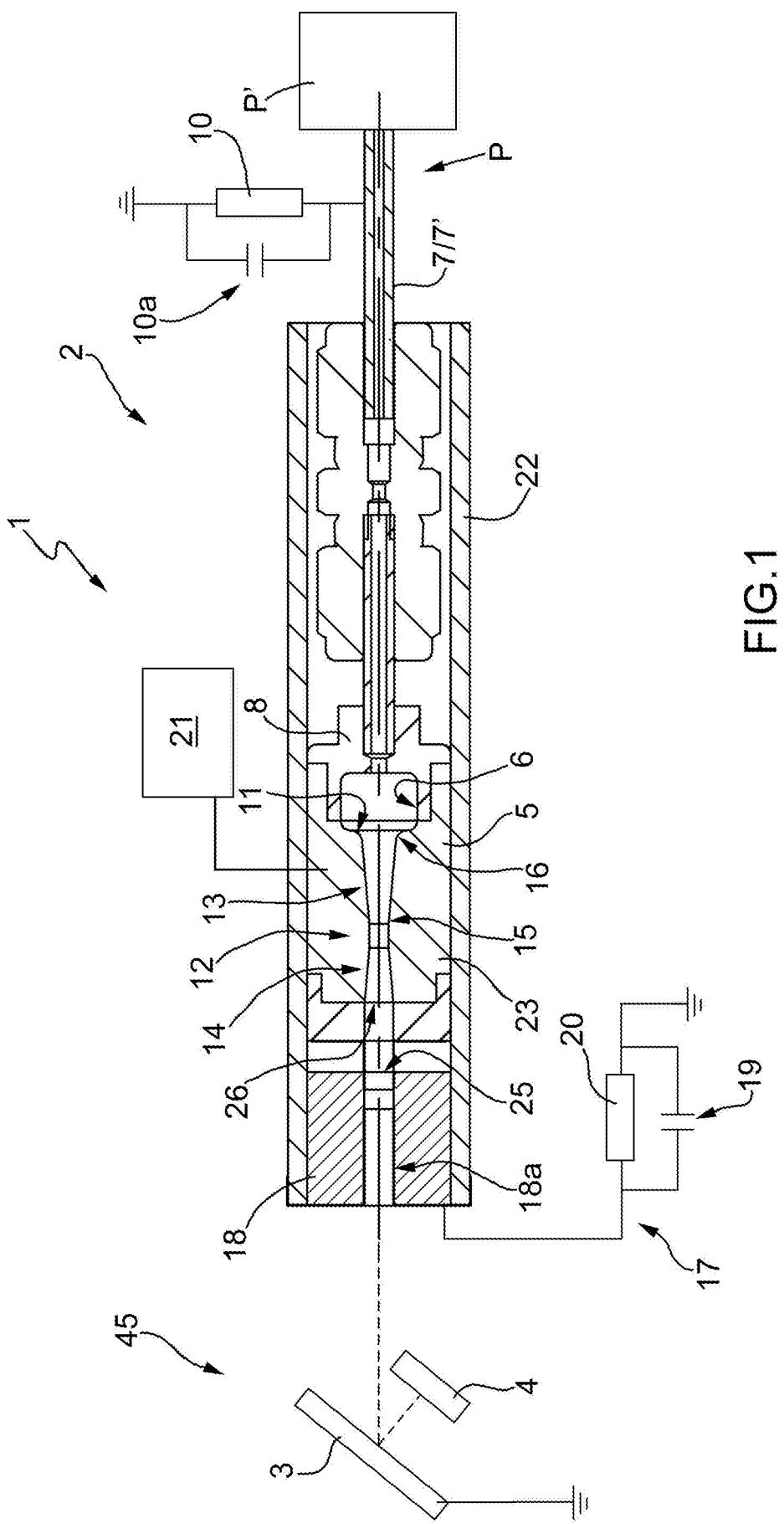
the apparatus (1) is characterized by comprising a device (2, 2', 2'', 2'''; 2'v; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') as defined in one of the preceding claims, the cavity (6) of the device and the outer chamber (45) being mutually connected; the outer chamber (45) containing gas at a pressure less than 10<sup>-3</sup> mbar; the device (2, 2'; 2'', 2'''; 2'v; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') being designed to direct a beam of electrons against the target (3) so that at least part of the material is determined removed from the target (3) and is deposited on the support (4).

15. - Method for the application of a determined material on a support (4), the method comprises an emission phase, during which a device (2, 2', 2'', 2'''; 2'v ; 2v; 2v'; 2v''; 2v''') according to one of claims 1 to 13 directs a beam of electrons towards a target (3) with the determined material in order to remove at least

part of the determined material from the target (3) and direct it towards the support (4).

16. - Apparatus and method for electron beam welding of two or more parts, the method includes a emission phase, during which a device 2' according to one of claims 1 to 13 directs a beam of electrons at a target (3) consisting of two or more metal parts so as to partially melt these parts and thus to weld them.

Industrial expert Libuse Skocdopolova



EIG. 1

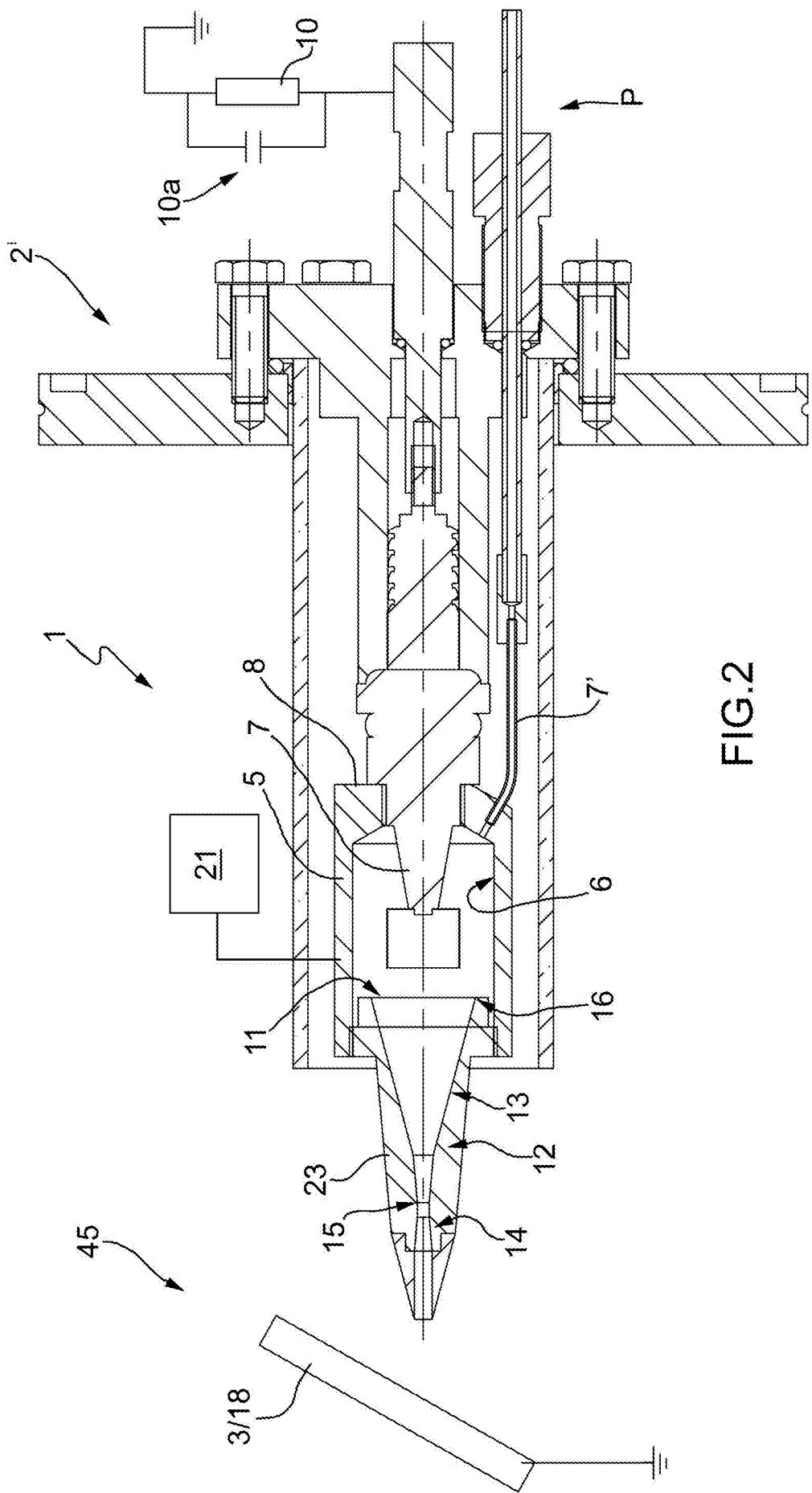
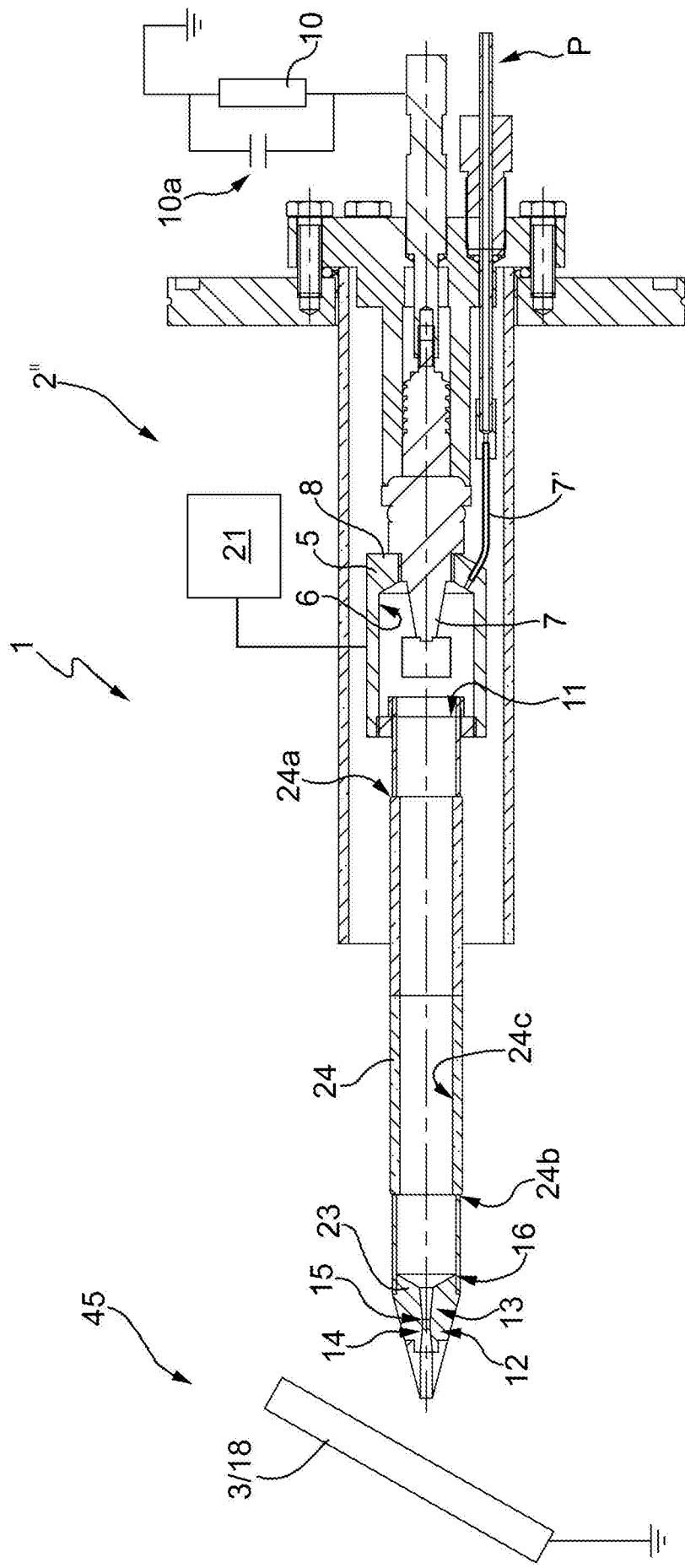


FIG.2



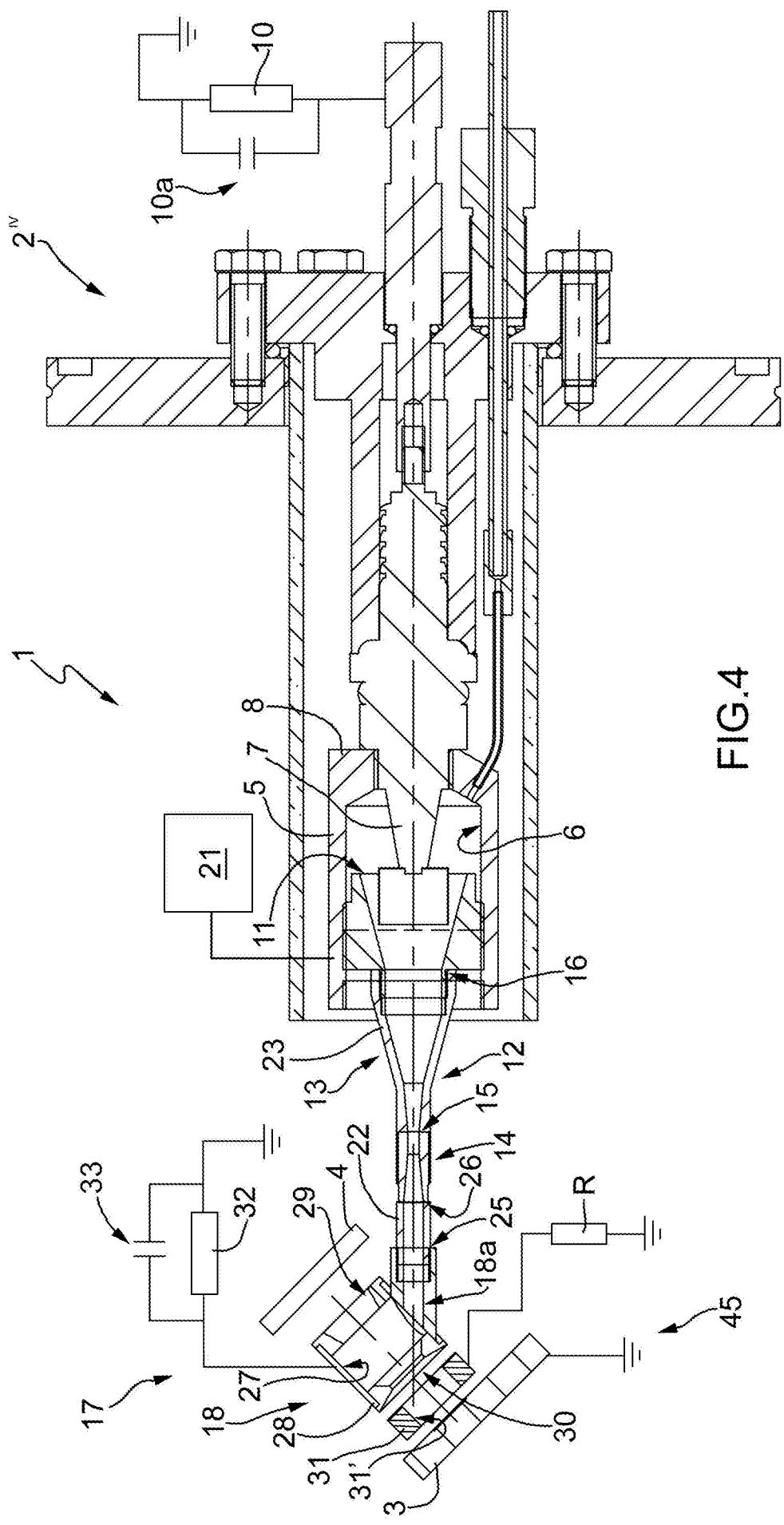
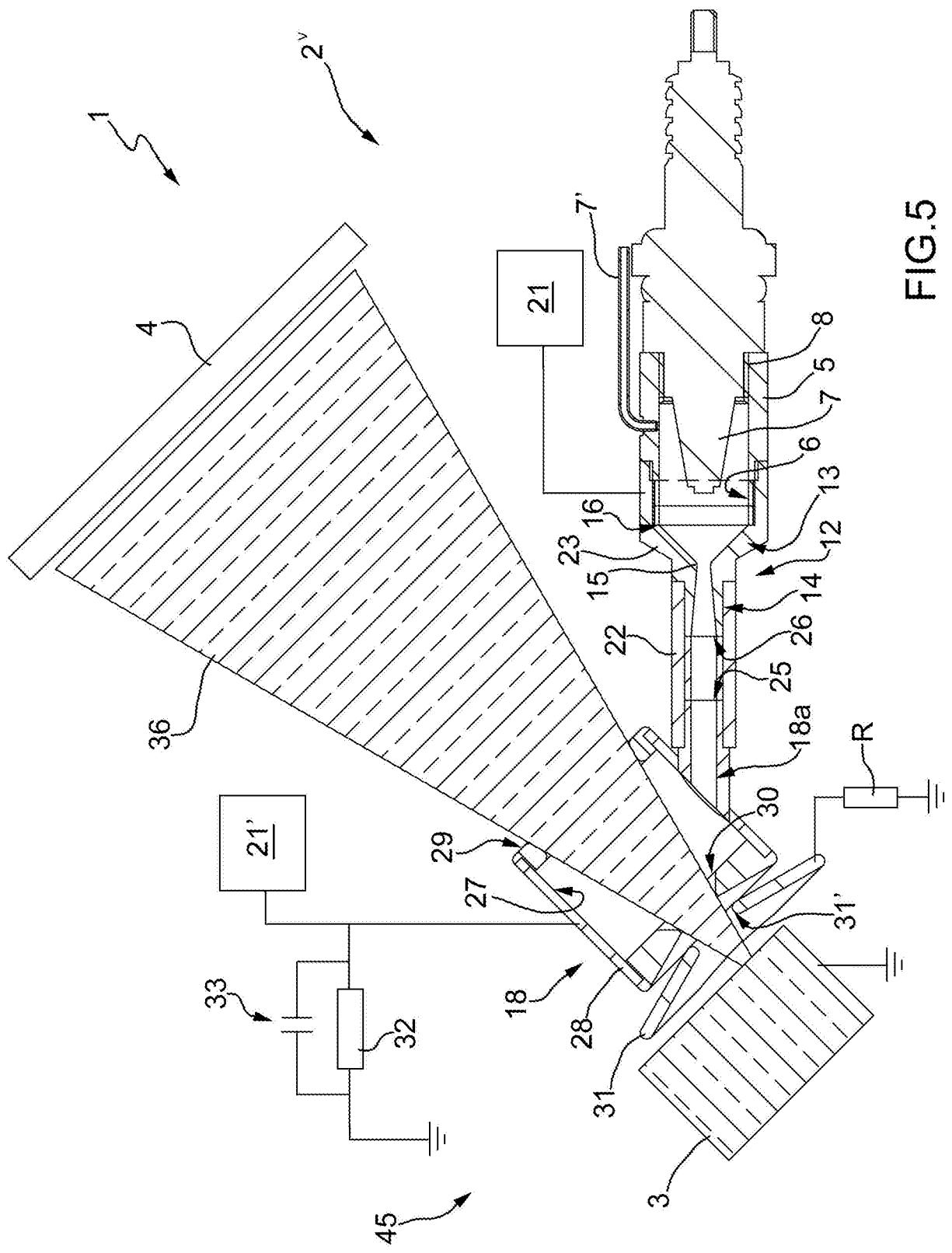
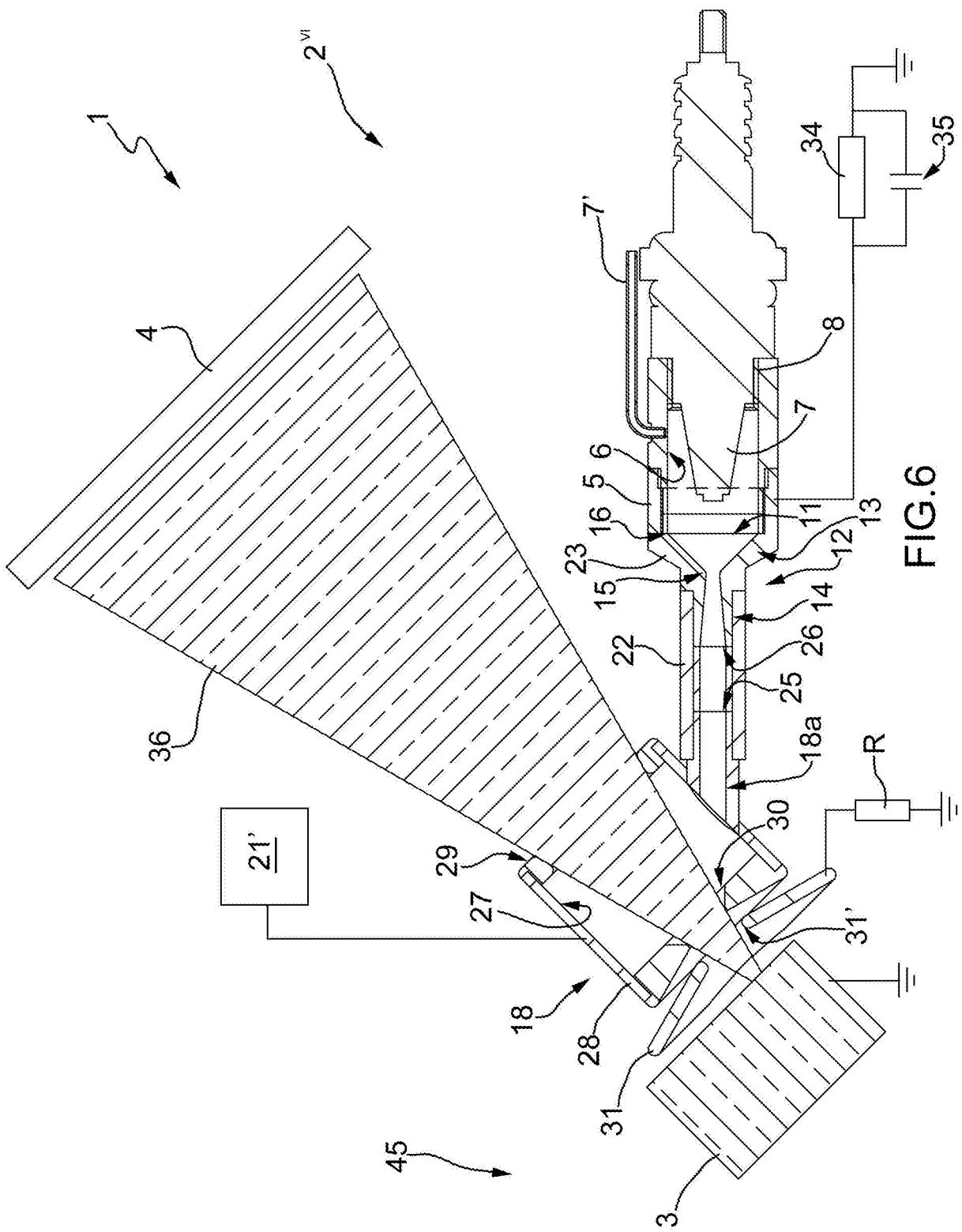


FIG.5





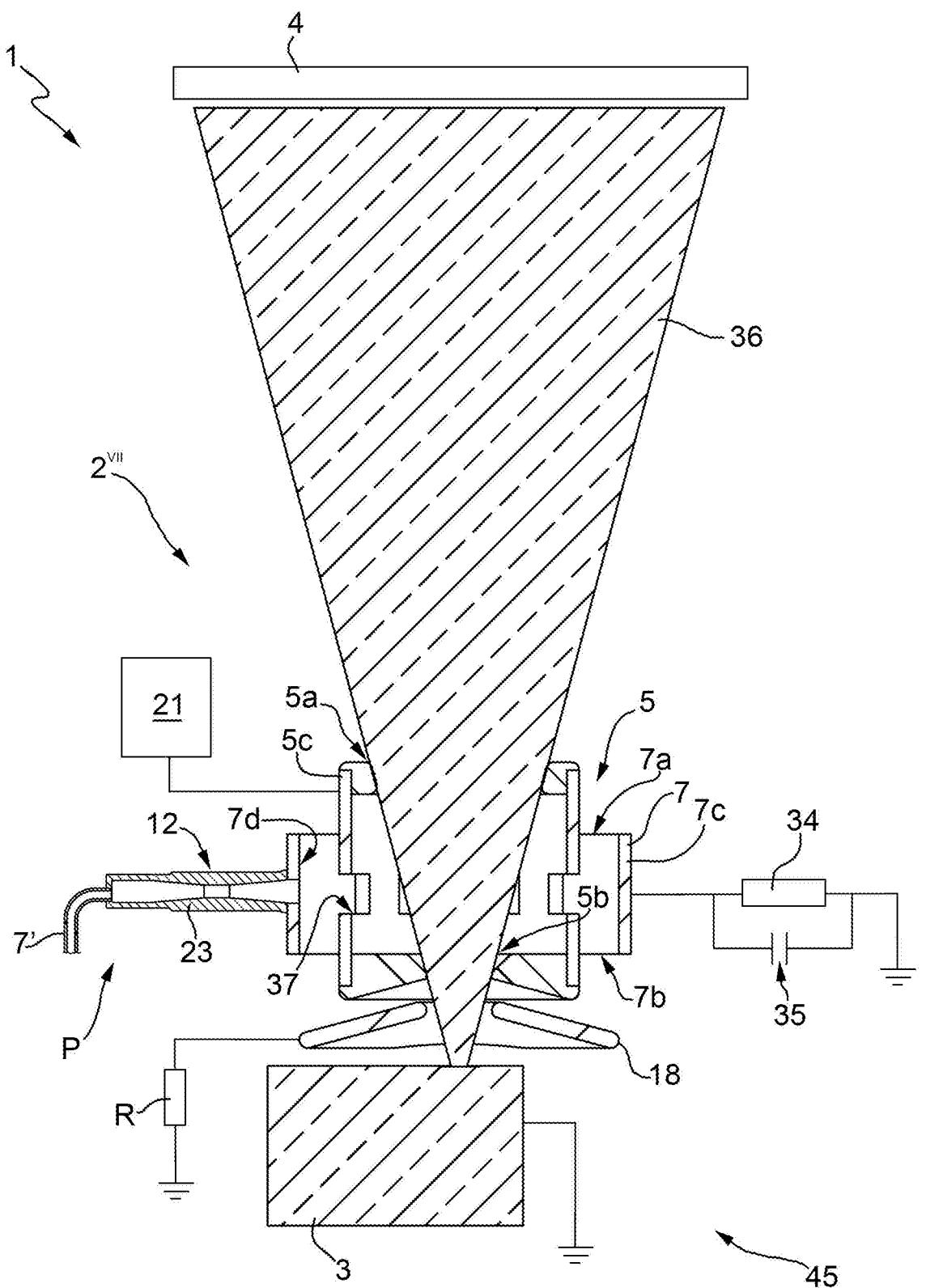


FIG.7

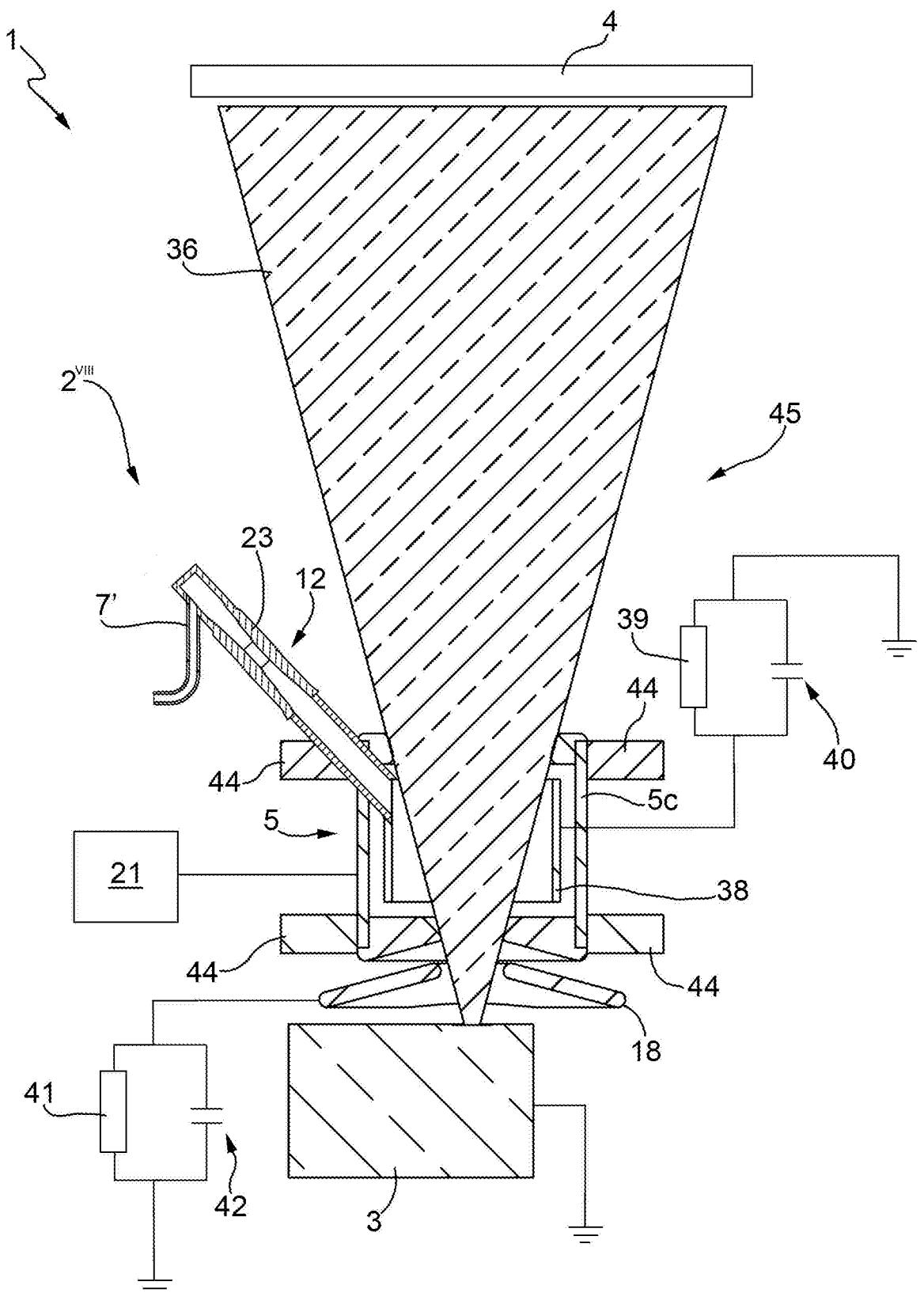


FIG. 8