



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년04월20일  
 (11) 등록번호 10-1613882  
 (24) 등록일자 2016년04월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01J 9/02 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 G01J 9/0215 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0161981  
 (22) 출원일자 2015년11월18일  
 심사청구일자 2015년11월18일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2001305229 A  
 JP2006126008 A

(73) 특허권자  
 기초과학연구원  
 대전광역시 유성구 유성대로1689번길 70 (전민동,KT대덕2연구센터)  
 광주과학기술원  
 광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)  
 (72) 발명자  
 김경택  
 광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원 국제관 301호  
 (74) 대리인  
 특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김창주

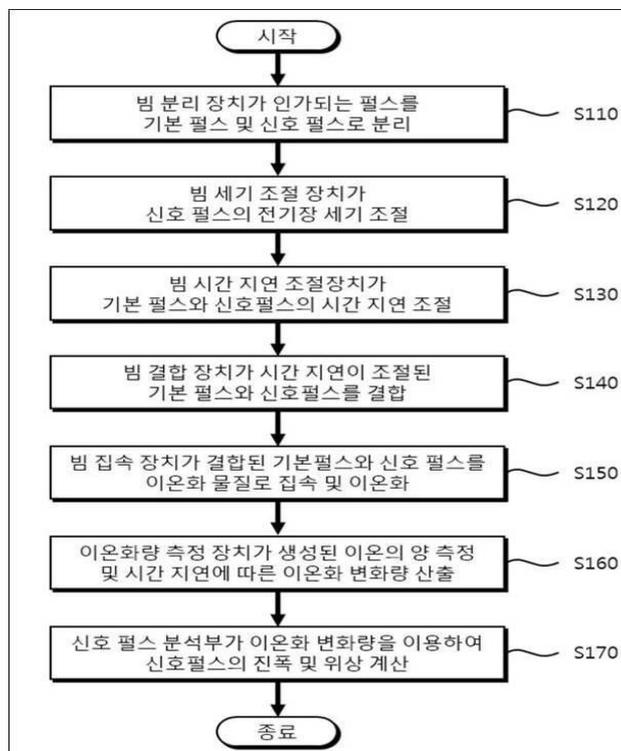
(54) 발명의 명칭 **이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법을 공개한다. 이 방법은 (a) 빔 분리 장치가 펄스를 인가받아 기본 펄스 및 측정 대상 신호 펄스로 분리하고, 빔 세기 조절 장치가 상기 분리된 신호 펄스를 인가받아 상기 분리된 신호펄스의 전기장 세기를 상기 기본 펄스보다 소정의 양만큼 약하게 조절하는 단계; (b) 빔 시

(뒷면에 계속)

**대표도** - 도2



간 지연 조절 장치가 상기 기본 펄스를 인가받아 상기 전기장 세기가 조절된 신호 펄스와 시간 지연을 조절하고, 빔 결합 장치가 상기 시간 지연이 조절된 기본 펄스를 인가받아 상기 전기장 세기가 조절된 신호 펄스와 결합시키는 단계; (c) 빔 집속 장치가 상기 결합되는 기본 펄스와 신호 펄스를 인가받아 상기 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 전자 및 이온을 생성하고, 이온화량 측정 장치가 상기 생성된 이온의 양을 측정하여 상기 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출하는 단계; 및 (d) 신호 펄스 분석부가 상기 산출된 이온화 변화량을 이용하여 상기 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 IBS-R012-D1-2015-a00

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 기초과학연구원

연구사업명 캠퍼스 연구단 연구 사업

연구과제명 초강력 레이저를 이용한 상대론 영역의 레이저 - 물질 상호작용 연구 (4/5)

기 여 율 1/1

주관기관 기초과학연구원

연구기간 2015.01.01 ~ 2015.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

(a) 빔 분리 장치가 펄스를 인가받아 기본 펄스 및 측정 대상 신호 펄스로 분리하고, 빔 세기 조절 장치가 상기 분리된 신호 펄스를 인가받아 상기 분리된 신호펄스의 전기장 세기를 상기 기본 펄스보다 소정의 양만큼 약하게 조절하는 단계;

(b) 빔 시간 지연 조절 장치가 상기 기본 펄스를 인가받아 상기 세기가 조절된 신호 펄스와의 시간 지연을 조절하고, 빔 결합 장치가 상기 시간 지연이 조절된 기본 펄스를 인가받아 상기 신호 펄스와 결합시키는 단계;

(c) 빔 집속 장치가 상기 결합되는 기본 펄스와 신호 펄스를 인가받아 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 전자 및 이온을 생성하고, 이온화량 측정 장치가 상기 생성된 전자 및 이온의 양을 측정하여 상기 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출하는 단계; 및

(d) 신호 펄스 분석부가 상기 산출된 이온화 변화량을 이용하여 상기 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는,

이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (c) 단계에서

상기 기본 펄스가 소정의 시간 지연( $\tau$ )를 가지고 상기 이온화 물질에 입사되는 경우, 상기 생성되는 이온화량

은 
$$N(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} w[E_F(t - \tau) + E_S(t)] dt$$
 의 수학적 식 1로 산출되며,

상기  $w(t)$  는 상기 이온화 물질의 이온화율이고, 상기  $E_F(t - \tau)$  는 상기 기본 펄스가 상기 소정의 시간 지연( $\tau$ )만큼 지연된 후 전기장 세기이고, 상기  $E_S(t)$  는 상기 신호 펄스인 것을 특징으로 하는,

이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 수학적 식 1은

$$N(\tau) = N_0 + \int_{-\infty}^{+\infty} g(t - \tau)E_S(t) dt$$

의 수학적 식 2로 근사화되며,

상기  $N_0$  는 기본 펄스만으로 생성된 이온화량이고, 상기 함수  $g(t - \tau)$  는 소정의 시간 지연( $\tau$ )만큼 지연된 기

본펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분값, 즉  $g(t-\tau) = \left. \frac{dw}{dE} \right|_{E=E_F(t-\tau)}$ 이며, 상기  $E_s(t)$ 는 상기 신호 펄스의 전기장 세기인 것을 특징으로 하는, 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,  
상기 이온화 변화량은

$$\delta N(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t-\tau) E_s(t) dt$$

의 수학적 식 3으로 산출되며,

상기  $\delta N(\tau) = N(\tau) - N_0$ 이고, 상기 함수  $g(t-\tau)$ 는 소정의 시간 지연( $\tau$ )만큼 지연된 기본펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분값, 즉  $g(t-\tau) = \left. \frac{dw}{dE} \right|_{E=E_F(t-\tau)}$ 이며, 상기  $E_s(t)$ 는 상기 신호 펄스의 전기장 세기인 것을 특징으로 하는, 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,  
상기 (d) 단계에서  
상기 신호 펄스의 진폭 및 위상은 상기 수학적 식 3을 통해 계산되는 것을 특징으로 하는, 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**청구항 6**

제 4 항에 있어서,  
상기 이온화가 상기 기본 펄스의 피크 부분에서만 발생하는 경우,  
상기 수학적 식 3은

$\delta N(\tau) \propto E_s(\tau)$ 의 수학적 식 4로 근사화되고,

상기  $\delta N(\tau)$ 는 상기 시간 지연에 따른 이온화 변화량이며, 상기  $E_s(\tau)$ 는 상기 신호 펄스의 전기장 세기인 것을 특징으로 하는, 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 (d) 단계에서

상기 신호 펄스의 진폭 및 위상은 상기 수학식 4를 통하여 상기 신호 펄스의 전기장 세기에 비례하여 직접 계산되는 것을 특징으로 하는,

이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 (c) 단계는

전극에 소정량의 전압이 인가되어 상기 생성된 전자 및 이온이 수집되는 단계;

전류 측정부가 상기 수집된 전자 및 이온을 인가받아 전류를 측정하는 단계;

증폭부가 상기 측정된 전류의 세기를 증폭시키는 단계; 및

이온화량 측정부가 상기 증폭된 전류를 인가받아 전기신호의 형태로 상기 생성된 이온의 양을 측정하는 단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는,

이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 소정의 양은

상기 기본 펄스의 전기장 세기의 0.1% 초과, 20% 미만인 것을 특징으로 하는,

이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

### 청구항 10

(a) 빔 분리 장치가 펄스를 인가받아 기본 펄스 및 측정 대상 신호 펄스로 분리하고, 빔 세기 조절 장치가 상기 분리된 신호 펄스를 인가받아 상기 분리된 신호펄스의 전기장 세기를 상기 기본 펄스보다 소정의 양만큼 약하게 조절하는 단계;

(b) 빔 시간 지연 조절 장치가 상기 기본 펄스를 인가받아 상기 신호 펄스와의 시간 지연을 조절하고, 빔 결합 장치가 상기 시간 지연이 조절된 기본 펄스를 인가받아 상기 신호 펄스와 결합시키는 단계;

(c) 빔 집속 장치가 상기 결합되는 기본 펄스와 신호 펄스를 인가받아 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 전자 및 이온을 생성하고, 이온화량 측정 장치가 상기 생성된 전자 및 이온의 양을 측정하여 상기 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출하는 단계; 및

(d) 신호 펄스 분석부가 상기 산출된 이온화 변화량을 이용하여 상기 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산하는 단계;

를 포함하고,

상기 (c) 단계는

전극에 소정량의 전압이 인가되어 상기 생성된 전자 및 이온이 수집되는 단계;

전류 측정부가 상기 수집된 전자 및 이온을 인가받아 전류를 측정하는 단계;

증폭부가 상기 측정된 전류의 세기를 증폭시키는 단계; 및  
 이온화량 측정부가 상기 증폭된 전류를 인가받아 전기신호의 형태로 상기 생성된 이온의 양을 측정하는 단계;  
 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는,  
 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,  
 상기 소정의 양은  
 상기 기본 펄스의 전기장 세기의 0.1% 초과, 20% 미만인 것을 특징으로 하는,  
 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 광파의 진폭 및 위상 측정 방법에 관한 것으로서, 특히 기본 펄스 및 신호 펄스를 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 이온을 생성하고 두 펄스 간 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출함으로써 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산하여, 적용되는 광파의 시간에 따라 변화하는 정확한 펄스 모양을 제공할 수 있는 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 일반적으로 펄스 형태를 가지는 광파의 시간 모양 측정은 여러 응용분야에서 필수적인 요소이다.
- [0003] 광파가 시간에 따라 변화하는 모양을 측정하기 위해서는 광파의 진폭과 위상을 시간 영역에서 측정하거나, 주파수 영역에서 측정해야만 한다.
- [0004] 펄스 형태의 광파를 측정하기 위해 가장 널리 사용되는 방법은 비선형 물질에서 생성되는 조화파를 이용하는 것이다.
- [0005] 그 중에서도 자기상관(Autocorrelation) 관계를 이용하는 방식이 널리 사용된다.
- [0006] 자기상관 방법에서는 광학 간섭계 등을 이용하여 나누어진 두 개의 펄스를 비선형 물질 안에서 다시 합쳐 조화파를 생성한다.
- [0007] 두 펄스가 시간 영역에서 겹쳐질 때 조화파의 세기가 증가하기 때문에, 두 펄스 간의 시간지연에 따라 조화파의 세기를 측정함으로써 대략적인 펄스 폭을 알 수 있다.
- [0008] 광파가 시간 영역에서 어떤 모양을 가지는지 정확히 알기 위해서는 광파가 가지는 스펙트럼의 진폭과 위상을 측정해야 한다.
- [0009] 이를 위하여 주파수 광분해(Frequency Resolved Optical Gating, FROG) 방법과 주파수 간섭 전기장 복원(Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction, SPIDER) 방법이 널리 사용된다.
- [0010] 주파수 광분해 방법과 주파수 간섭 전기장 복원 방법은 자기상관 방법과 유사하게 빔을 두 개로 나눈 후 상대적인 시간지연을 조절한다.
- [0011] 또한, 분리된 두 빔을 비선형 물질에서 다시 합치면서 생성되는 조화파의 스펙트럼을 두 빔 간의 시간지연에 따라 측정한다.
- [0012] 각각의 방법에서 펄스 복원 알고리즘을 사용하여 펄스가 가지는 진폭과 위상의 측정이 가능하다.

- [0013] 그런데, 앞서 기술한 방법들은 광파의 시간 모양 측정을 위해 비선형 물질에서 생성되는 조화파를 측정하므로, 비선형 물질의 위상 정합 조건이 맞는 특정한 파장에서만 작동한다는 문제점을 가지고 있다.
- [0014] 이러한 문제를 해결하기 위해 물질의 이온화를 이용해 펄스를 측정하는 방법이 제시되기도 하였다.
- [0015] 그러나, 종래의 이온화를 이용한 펄스 측정 방법은 유사한 두 펄스를 이용해 비선형적으로 변하는 이온화 총량을 측정하기 때문에, 레이저 펄스 모양에 대한 대략적인 정보만을 제공할 뿐, 진폭과 위상에 대한 정보를 제공하지 않으므로 정확한 펄스 모양을 제공하지 못하는 비선형 결정을 이용하는 자기상관방법과 동일한 한계가 있다.
- [0016] 따라서, 종래의 이온화를 이용한 펄스 측정 방법의 문제점 및 한계를 보완하여 펄스의 진폭 및 위상 정보 제공이 가능하여 정확한 펄스 모양을 제공할 수 있고, 파장 범위가 제한적이지 않은 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법의 필요성이 절실하였다.

**선행기술문헌**

- [0017] (특허문헌 1) US 5530544 A

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0018] 본 발명의 목적은 기본 펄스 및 신호 펄스 두 개의 빔을 이용하여 시간 지연에 따라 이온화 물질로 집속하여 이온화시킨 후, 기본 펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분 함수와 신호 펄스의 상호상관 함수 형태로 주어지는 이온화 변화량을 두 펄스 간의 시간 지연에 따라 산출하여 신호 펄스의 진폭과 위상을 측정할 수 있는 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법을 제공하는 것이다.
- [0019] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)는 이하의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0020] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법은 (a) 빔 분리 장치가 펄스를 인가받아 기본 펄스 및 측정 대상 신호 펄스로 분리하고, 빔 세기 조절 장치가 상기 분리된 신호 펄스를 인가받아 상기 분리된 신호펄스의 전기장 세기를 상기 기본 펄스보다 소정의 양만큼 약하게 조절하는 단계; (b) 빔 시간 지연 조절 장치가 상기 기본 펄스를 인가받아 상기 신호 펄스와의 시간 지연을 조절하고, 빔 결합 장치가 상기 시간 지연이 조절된 기본 펄스를 인가받아 상기 신호 펄스와 결합시키는 단계; (c) 빔 집속 장치가 상기 결합되는 기본 펄스와 신호 펄스를 인가받아 상기 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 전자 및 이온을 생성하고, 이온화량 측정 장치가 상기 생성된 전자 및 이온의 양을 측정하여 상기 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출하는 단계; 및 (d) 신호 펄스 분석부가 상기 산출된 이온화 변화량을 이용하여 상기 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.
- [0022] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

**발명의 효과**

[0023] 본 발명에 의할 경우, 종래의 자기 상관 방법과 달리 펄스의 진폭 및 위상 정보 제공이 가능하여 정확한 펄스 모양을 제공할 수 있고, 종래의 비선형 결정을 사용하여 광파의 모양을 측정하는 방법들이 가지는 파장 범위에 대한 제약이 없이 광파의 시간에 따라 변화하는 모양을 측정할 수 있게 된다.

**도면의 간단한 설명**

[0024] 도 1은 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법을 구현하기 위한 광파의 진폭 및 위상 측정 장치의 블록도이다.

도 2는 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법의 동작을 나타내는 순서도이다.

도 3은 도 2에 도시된 광파의 진폭 및 위상 측정 방법 중 단계(S160)에서 생성된 이온의 양을 측정하는 부분 동작을 나타내는 순서도이다.

도 4 내지 도 7은 도 2에 도시된 광파의 진폭 및 위상 측정 방법 중 단계(S150)에서 전자 및 이온을 생성하는 다양한 실시예들의 구성도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0026] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정되어 해석되지 말아야 하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.

[0027] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "부", "기", "모듈", "장치", "단계" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0028] 도 1은 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법을 구현하기 위한 광파의 진폭 및 위상 측정 장치의 블록도로서, 빔 분리 장치(110), 빔 세기 조절 장치(120), 빔 시간 지연 조절 장치(130), 빔 결합 장치(140), 빔 집속 장치(150), 이온화량 측정 장치(160) 및 신호 펄스 분석부(170)를 구비한다.

[0029] 도 2는 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법의 동작을 나타내는 순서도이다.

[0030] 도 3은 도 2에 도시된 광파의 진폭 및 위상 측정 방법 중 단계(S160)에서 생성된 이온의 양을 측정하는 부분 동작을 나타내는 순서도이다.

[0031] 도 4 내지 도 7은 도 2에 도시된 광파의 진폭 및 위상 측정 방법 중 단계(S150)에서 전자 및 이온을 생성하는 다양한 실시예들의 구성도로서, 전극(161), 전류 측정부(162), 증폭부(163), 이온화량 측정부(164), 진공 또는 대기 중 가스 (181), 가스켓 장치(182), 날카로운 금속 물질(183) 및 나노 구조물(184)을 포함한다.

[0032] 도 1 및 도 3을 참조하여 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법의 동작 흐름을 설명하면 다음과 같다.

[0033] 빔 분리 장치(110)가 펄스를 인가받아 기본 펄스 및 측정 대상 신호 펄스로 분리하면(S110), 빔 세기 조절 장치(120)가 빔 분리 장치(110)에서 분리된 신호 펄스를 인가받아 신호펄스의 전기장 세기를 기본 펄스보다 소정의 양만큼 약하게 조절한다(S120).

[0034] 빔 시간 지연 조절 장치(130)가 빔 분리 장치(110)에서 기본 펄스를 인가받아 신호 펄스와의 시간 지연을 조절한다(S130).

[0035] 여기에서, 빔 시간 지연 조절 장치(130)는 기본 펄스와 신호 펄스의 상대적인 시간 지연을 조절하는 장치로서, 도 1과 달리 신호 펄스의 시간 지연을 조절하도록 설치될 수도 있다.

[0036] 빔 결합 장치(140)가 빔 시간 지연 조절 장치(130)에서 시간 지연이 조절된 기본 펄스를 인가받아 신호 펄스와

결합시킨다(S140). 빔 집속 장치(150)가 빔 결합 장치(140)에서 결합되는 기본 펄스와 신호 펄스를 인가받아 이온화 물질로 집속하여 이온화시켜 전자 및 이온을 생성하면(S150), 이온화량 측정 장치(160)가 빔 집속 장치(150)에서 생성된 이온의 양을 측정하여 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출한다(S160).

- [0037] 즉, 도 3에서 보는 바와 같이 전극(161)에 소정량의 전압이 인가되어 상기 생성된 전자 및 이온이 수집되면(S161), 전류 측정부(162)가 전극(161)에서 수집된 전자 및 이온을 인가받아 전류를 측정한다(S162).
- [0038] 증폭부(163)가 전류 측정부(162)에서 측정된 전류의 세기를 증폭시키면(S163), 이온화량 측정부(164)가 증폭부(163)에서 증폭된 전류를 인가받아 전기신호의 형태로 생성된 이온의 양을 측정한다(S164).
- [0039] 이때, 단계(S162)에서 측정된 전류량이 충분히 클 경우 증폭부(163)는 생략 될 수 있다.
- [0040] 마지막으로, 신호 펄스 분석장치(170)가 이온화량 측정 장치(160)에서 산출된 이온화 변화량을 이용하여 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산한다(S170).
- [0041] 도 1 내지 도 7을 참조하여 본 발명에 따른 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법의 실시예들의 동작을 설명하면 다음과 같다.
- [0042] 도 1에서 보는 바와 같이, 빔 분리 장치(110)는 공간상의 분리를 통해 하나의 펄스를 두 개의 펄스로 분리한다.
- [0043] 빔 분리 장치(110)는 빔 스플리터(beam splitter) 등을 포함한다.
- [0044] 이때, 하나의 빔은 기본 펄스( $E_F$ , Fundamental Pulse)로서, 이온화를 일으킬 수 있는 정도의 전기장 세기를 가지고, 나머지 빔은 측정하고자 하는 신호 펄스( $E_S$ , Signal Pulse)이다. 빔 세기 조절 장치(120)는 빔 분리 장치(110)로부터 분리된 신호 펄스를 인가받아 아이리스 셔터 등의 장치를 이용해 빔의 크기를 조절하거나, 빔의 일부만을 투과 혹은 반사시키는 장치 등을 이용해 이온화를 일으키는 물질에서 신호 펄스의 전기장 세기가 기본 펄스보다 현저히 약하도록 조절한다.
- [0045] 이때, 이온화를 일으키는 물질에 집속된 신호 펄스의 전기장 세기는 이온화량을 측정할 때 발생하는 전기적 잡음으로부터 이온화량의 변화를 충분히 측정 가능한 정도인 0.1% 보다 크며, 신호펄스만으로 이온화가 일어나지 않는 정도의 세기인 20% 미만으로 조절하여야 한다.
- [0046] 빔 시간 지연 조절 장치(130)는 빔 분리 장치(110)에서 기본 펄스를 인가받아 신호 펄스와의 시간 지연을 조절한다.
- [0047] 빔 시간 지연 조절 장치(130)는 평행이동 스테이지(Translational Stage) 등을 포함한다.
- [0048] 빔 결합 장치(140)는 빔 세기 조절 장치(120)에서 세기가 신호 펄스와 빔 시간 지연 조절 장치(130)에서 시간 지연이 조절된 기본펄스를 인가받아 두 빔이 시간-공간 영역에서 겹쳐 지도록 한다.
- [0049] 빔 결합 장치(140)는 빔 스플리터 등의 광학계를 포함한다.
- [0050] 만일, 빔 분리 단계에서 두 빔이 같은 광학경로를 지나도록 나눈 경우에는 빔 결합 장치(140)의 상기 동작이 필요하지 않을 수 있다.
- [0051] 빔 집속 장치(150)는 렌즈 또는 포커싱 미러를 이용하여 두 빔을 이온화를 일으키는 물질로 집속한다.
- [0052] 물질이 집속된 광파와 반응하면 이온화되어 전자 및 이온을 생성한다.
- [0053] 이온화량 측정 장치(160)가 빔 집속 장치(150)에서 생성된 이온화량을 측정하여 시간 지연에 따른 이온화 변화량을 산출한다.
- [0054] 기본 펄스와 함께 신호 펄스가 시간 지연  $\tau$  를 가지고 물질에 입사되는 경우, 물질의 이온화율(단위 시간당 이온화 될 확률)을  $w(t)$  라 하면, 생성되는 이온화량은 다음 수학적식과 같다.

수학식 1

$$N(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} w[E_F(t - \tau) + E_s(t)] dt$$

[0055]

[0056] 여기에서,  $E_F(t - \tau)$ 는 시간  $\tau$ 만큼 지연된 기본 펄스의 전기장 세기이고,  $E_s(t)$ 는 측정하고자 하는 신호 펄스의 전기장 세기이다.

[0057] 이때, 신호 펄스의 전기장 세기가 기본 펄스에 비해 현저히 작기 때문에 수학식 1은 다음 수학식과 같이 근사화가 가능하다.

수학식 2

$$N(\tau) = N_0 + \int_{-\infty}^{+\infty} g(t - \tau)E_s(t) dt$$

[0058]

[0059] 여기에서,  $N_0$ 는 기본 펄스만으로 생성된 이온화량이고, 함수  $g(t - \tau)$ 는 시간 지연된 기본 펄스의 전기장 세기

에 대한 이온화율의 미분값, 즉  $g(t - \tau) = \left. \frac{dw}{dE} \right|_{E=E_F(t-\tau)}$ 이며,  $E_s(t)$ 는 측정하고자 하는 신호 펄스의 전기장 세기이다.

[0060] 따라서, 시간 지연에 따른 이온화량의 변화  $\delta N(\tau) = N(\tau) - N_0$ 는 다음 수학식과 같이 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\delta N(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t - \tau)E_s(t) dt$$

[0061]

[0062] 여기에서, 함수  $g(t - \tau)$ 는 시간 지연된 기본 펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분값, 즉

$g(t - \tau) = \left. \frac{dw}{dE} \right|_{E=E_F(t-\tau)}$ 이며,  $E_s(t)$ 는 측정하고자 하는 신호 펄스의 전기장 세기이다.

[0063] 즉, 이온화량의 변화  $\delta N(\tau)$ 는 기본 펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분값  $\left( \frac{dw}{dE} \right)$ 과 신호 펄스  $E_s$ 의 상호상관(cross-correlation) 함수 형태가 된다.

[0064] 이때, 기본 펄스 또는 신호 펄스가 긴 경우에는 상기 수학식 3을 이용하여 신호 펄스의 모양, 즉 진폭 및 위상을 찾을 수 있고, 기본 펄스가 짧아 이온화가 기본 펄스의 피크 부분에서만 한번 일어난다고 하면, 이온화 변화량은 다음 수학식과 같이 근사화될 수 있기 때문에 신호 펄스의 진폭 및 위상을 직접 측정하는 것이 가능해진다.

수학식 4

$$\delta N(\tau) \propto E_s(\tau)$$

- [0065]  $\delta N(\tau) \propto E_s(\tau)$
- [0066] 여기에서,  $E_s(\tau)$ 는 측정하고자 하는 신호 펄스의 전기장 세기이다.
- [0067] 한편, 이온화량 측정 장치(160)가 이온화 변화량을 측정하는 수단으로는 도 4에 도시된 바와 같이 여러 가지 장치가 사용될 수 있다.
- [0068] 즉, 도 4에서와 같이 진공 혹은 대기 중 가스(181) 등을 빔 결합 장치(140)에서 결합된 기본 펄스와 신호 펄스의 광파와 빔 집속 장치(150)에서 반응시키면 가스가 이온화되어 전자 및 이온을 생성한다.
- [0069] 전극(161)은 금속재질의 물질로서 소정량의 전압을 가하면 상기 생성된 전자 및 이온이 수집되고, 전류 측정부(162)는 전극(161)으로부터 수집된 전자 및 이온을 인가받아 전류를 측정한다.
- [0070] 이때, 전류 측정부(162)에서 측정된 전류의 세기가 작을 수 있으므로 증폭부(163)를 통하여 측정된 전류의 세기를 증폭시킨다.
- [0071] 이온화량 측정부(164)는 증폭부(163)로부터 증폭된 전류를 인가받아 전기신호의 형태로 총 이온화량을 측정한다.
- [0072] 또한, 도 5에서와 같이 가스켓 장치(182)가 가스를 분출하면 분출된 가스를 빔 결합 장치(140)에서 결합된 기본 펄스와 신호 펄스의 광파와 빔 집속 장치(150)에서 반응시키면 가스가 이온화되어 전자 및 이온을 생성한다.
- [0073] 그 후에 전극(161), 전류 측정부(162), 증폭부(163) 및 이온화량 측정부(164)에서의 동작은 도 4와 동일하므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0074] 또한, 도 6에서와 같이 날카로운 금속 물질(183)을 빔 결합 장치(140)에서 결합된 기본 펄스와 신호 펄스의 광파와 빔 집속 장치(150)에서 반응시키면 이온화되어 전자 및 이온을 생성한다.
- [0075] 그 후에 전극(161), 전류 측정부(162), 증폭부(163) 및 이온화량 측정부(164)에서의 동작은 도 4와 동일하므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0076] 특히, 금속물질(183)을 이온화 물질로 이용하는 경우에는 따로 전극(161)을 구비할 필요 없이 금속물질(183)에서 생성되는 전류를 직접 측정할 수도 있다.
- [0077] 또한, 도 7에서와 같이 나노 구조물(184)을 빔 결합 장치(140)에서 결합된 기본 펄스와 신호 펄스의 광파와 빔 집속 장치(150)에서 반응시키면 이온화되어 전자 및 이온을 생성한다.
- [0078] 그 후에 전극(161), 전류 측정부(162), 증폭부(163) 및 이온화량 측정부(164)에서의 동작은 도 4와 동일하므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0079] 특히, 나노 구조물(184)의 경우에는 전극(161)을 함께 나노 구조물(184)의 형태로 제작할 수도 있다.
- [0080] 이외에도 이온화 현상은 아주 보편적으로 일어나는 현상이므로 이외에도 다른 많은 형태의 이온화 물질의 사용이 가능하다.
- [0081] 신호 펄스 분석부(170)는 수학식 3에서 보는 바와 같이, 시간 지연된 대한 이온화 변화량이 기본펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분 함수(dw/dE)와 신호 펄스의 상호상관(cross-correlation) 함수 형태로 주어지는 점을 이용하여 신호 펄스의 진폭과 위상을 계산한다.
- [0082] 특히, 기본 펄스가 매우 짧아 광파의 반 주기에서만 이온화가 일어날 경우에는, 이온화 변화량이 신호 펄스의 전기장에 비례한다는 점을 이용해 신호 펄스의 진폭 및 위상을 계산한다.
- [0083]
- [0084] 이와 같이, 본 발명의 이온화를 이용한 광파의 진폭 및 위상 측정 방법은 기본 펄스 및 신호 펄스 두 개의 빔을 이용하여 시간 지연에 따라 이온화 변화량을 측정한 후, 기본펄스의 전기장 세기에 대한 이온화율의 미분 함수

와 신호 펄스의 상호상관 함수 형태로 주어지는 시간 지연에 대한 이온화 변화량을 산출하여 신호 펄스의 진폭과 위상을 측정할 수 있다.

[0085] 이를 통하여, 종래의 자기 상관 방법과 달리 펄스의 진폭 및 위상 정보 제공이 가능하여 정확한 펄스 모양을 제공할 수 있고, 종래의 비선형 결정을 사용할 때 나타나는 파장 범위 제한 없이 광파의 시간에 따라 변화하는 모양을 측정할 수 있게 된다.

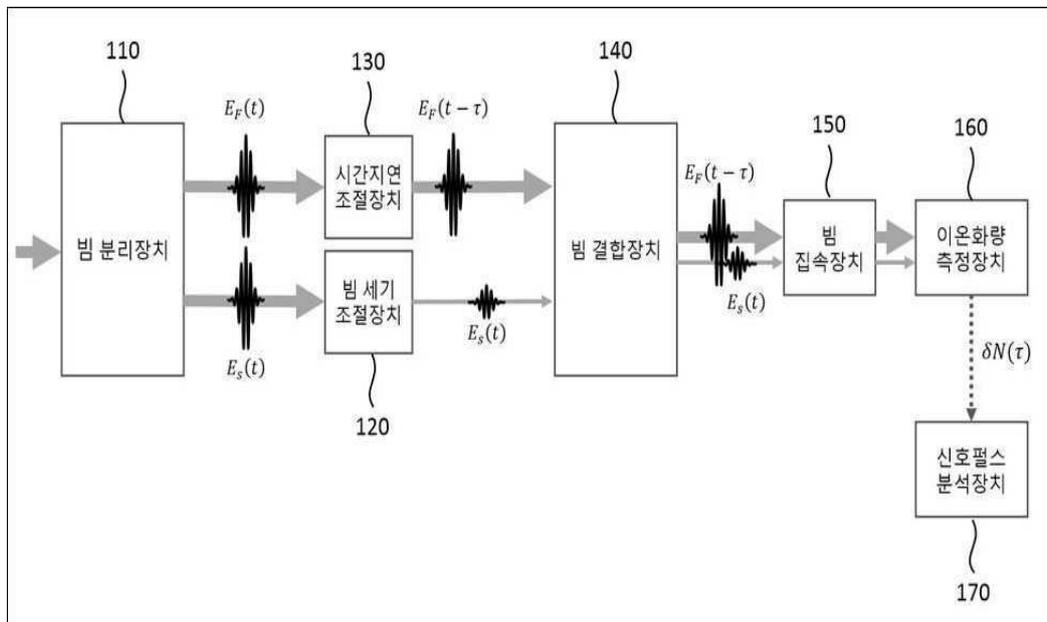
[0086] 이상, 일부 실시예를 들어서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 설명하였지만, 이와 같은 설명은 예시적인 것에 불과한 것으로서, 어떠한 의미로도 이에 의해 본 발명이 제한되는 것으로 해석될 수 없다 할 것이며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이상의 설명으로부터 본 발명을 다양하게 변형 또는 수정하여 실시하거나 본 발명과 균등한 실시를 행할 수 있다는 점을 잘 이해하고 있을 것이다.

**부호의 설명**

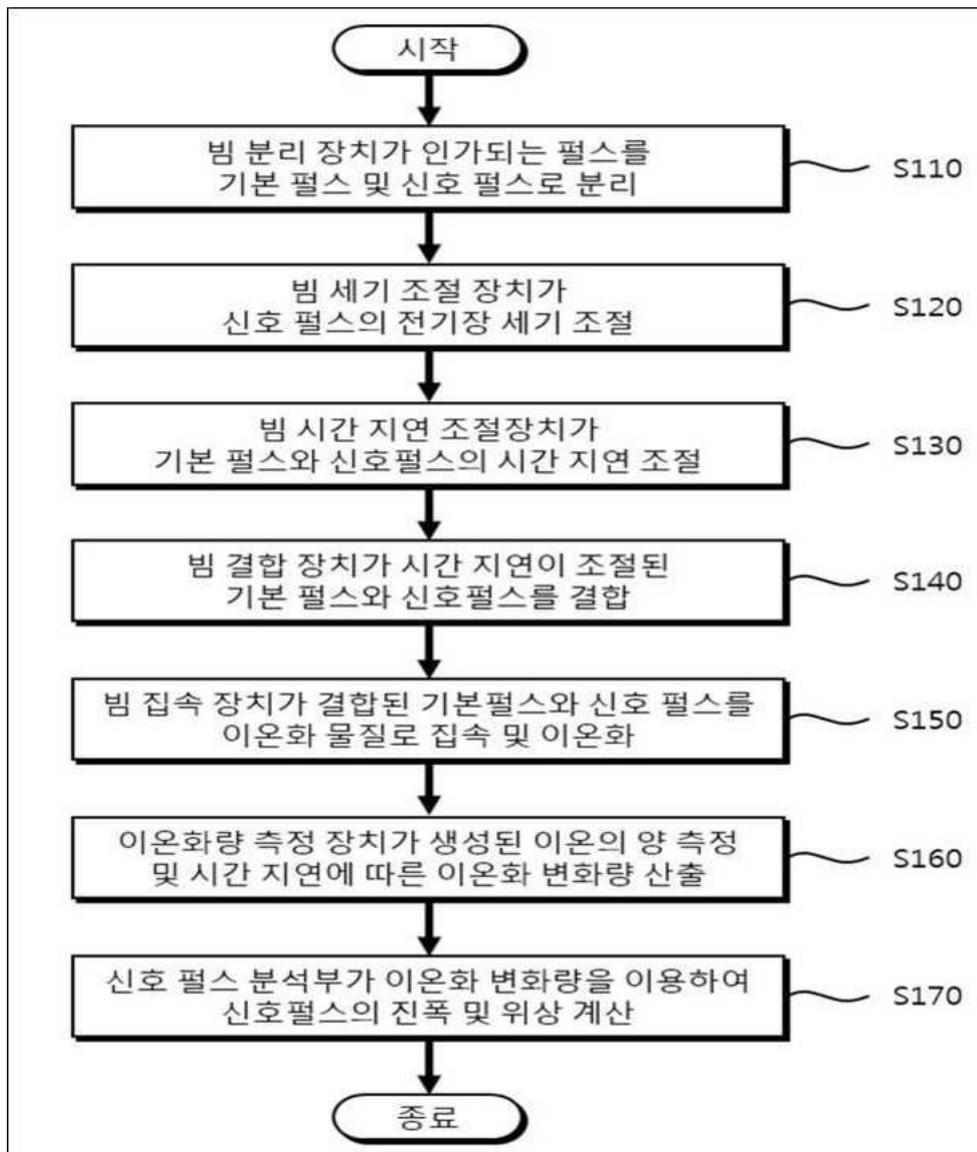
- [0087] 110: 빔 분리 장치
- 120: 빔 세기 조절 장치
- 130: 빔 시간 지연 조절 장치
- 140: 빔 결합 장치
- 150: 빔 집속 장치
- 160: 이온화량 측정 장치
- 170: 신호 펄스 분석부

**도면**

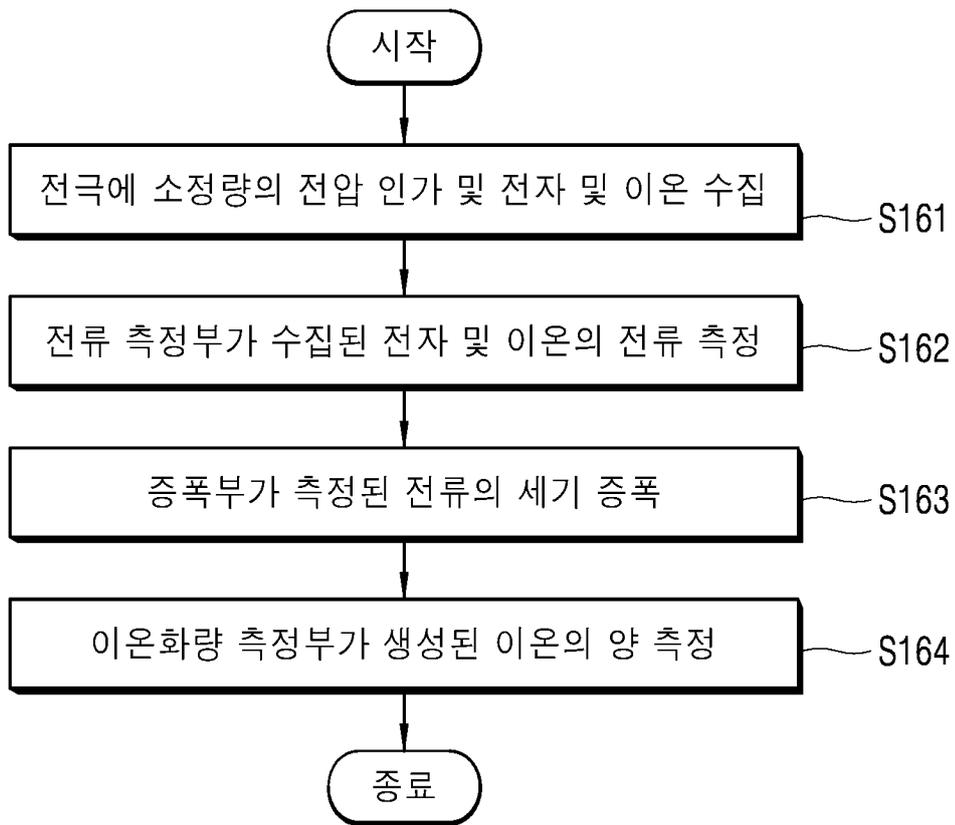
**도면1**



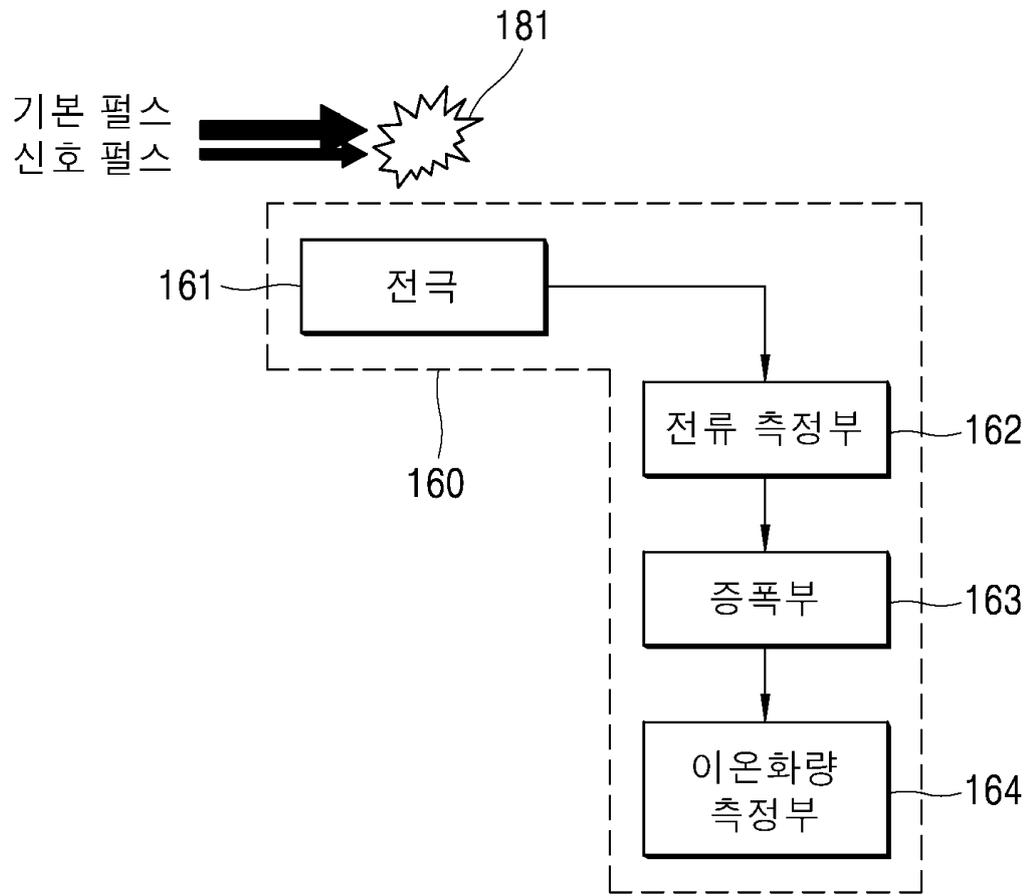
도면2



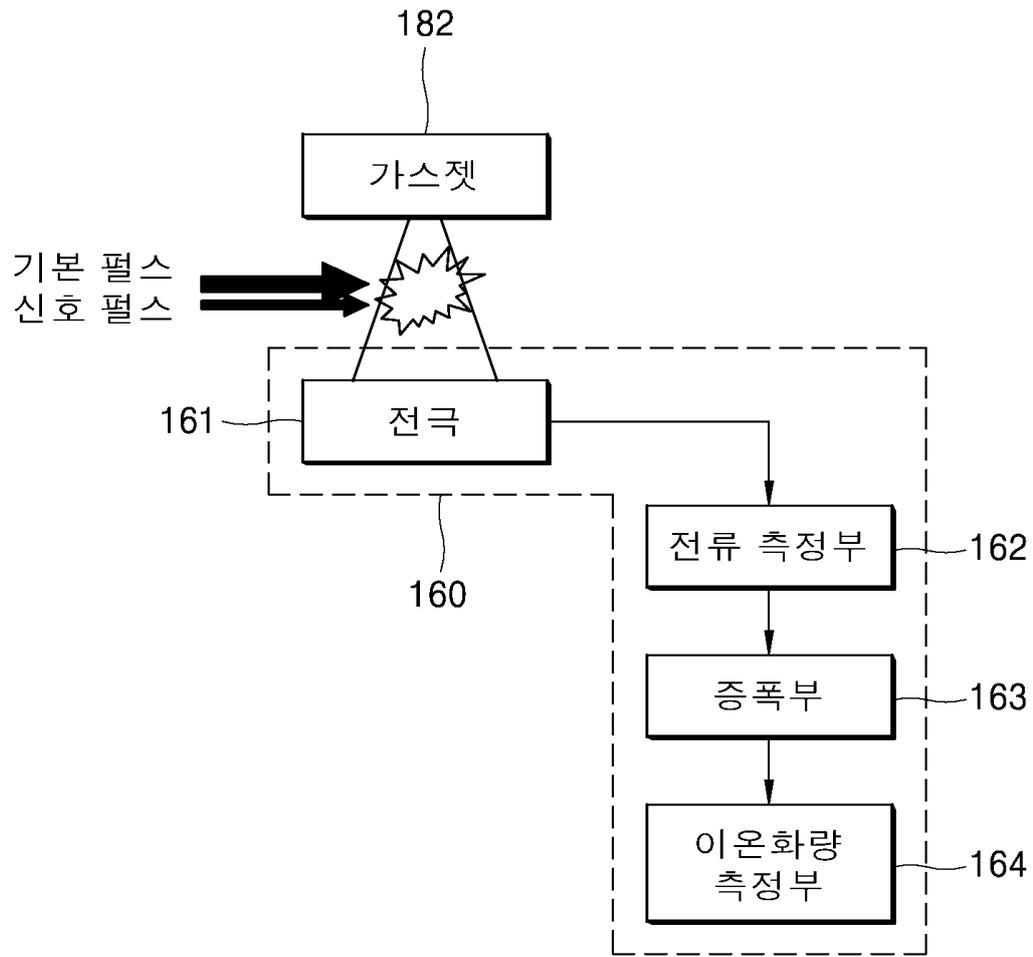
도면3



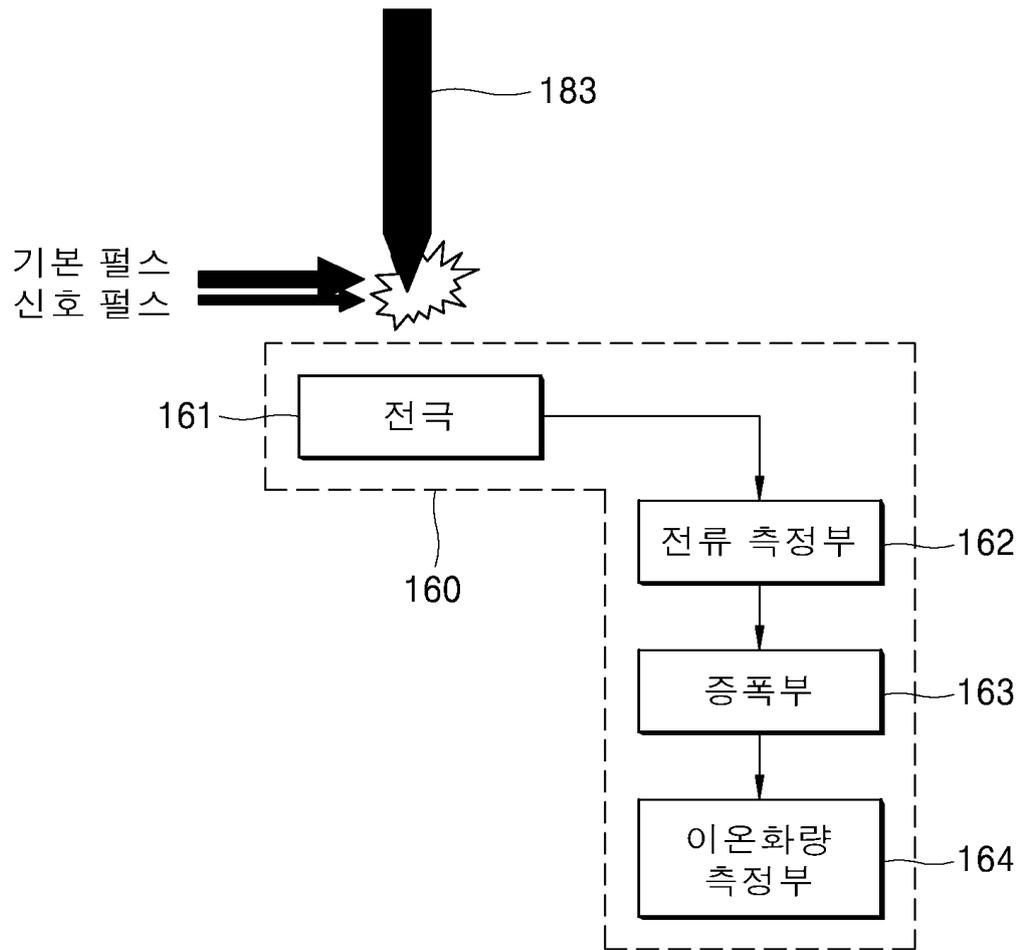
도면4



도면5



도면6



도면7

