



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월05일

(11) 등록번호 10-2738210

(24) 등록일자 2024년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/34 (2006.01) C23C 14/34 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01J 37/3467 (2013.01)
C23C 14/3485 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7016175

(22) 출원일자(국제) 2016년11월14일

심사청구일자 2021년10월12일

(85) 번역문제출일자 2018년06월07일

(65) 공개번호 10-2018-0081776

(43) 공개일자 2018년07월17일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2016/001891

(87) 국제공개번호 WO 2017/080672

국제공개일자 2017년05월18일

(30) 우선권주장

62/254,451 2015년11월12일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140019805 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

오를리콘 서피스 솔루션스 아크티엔게젤샤프트,
페피콘

스위스 8808 페피콘 에스제트 추러스트라쎄 120

(72) 발명자

크라스니처, 지크프리트

오스트리아 6800 펠트키르흐 루나슈트라쎄 40아

렌디, 다니엘

스위스 9472 그랍스 슈타트슈트라쎄 60

쿠라포프, 데니스

스위스 8880 발렌슈타트 술하우스가쎄 14

(74) 대리인

박장원

전체 청구항 수 : 총 8 항

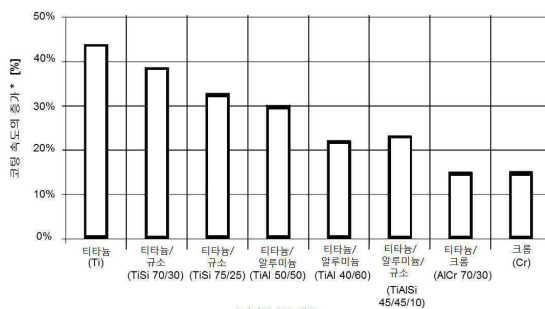
심사관 : 박정근

(54) 발명의 명칭 에너지 흐름의 최적화된 분포를 위한 스퍼터링 배열체 및 스퍼터링 방법

(57) 요약

본 발명은 스퍼터링 배열체, 진공 코팅 시스템, 및 HiPIMS 코팅 방법을 수행하는 방법에 관한 것으로; 상기 스퍼터링 배열체는 적어도 2개의 상이한 상호연결 가능성을 갖고, 2개의 스퍼터링 서브-조립체가 고전력 펄스에 의해 동시에 작동되는 제2 상호연결 가능성으로의 스위치는 생산성 증가를 달성한다.

대표도 - 도7



* 도 4의 상호연결에서 도 5의 상호연결로의 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체의 스위칭에 의한

(52) CPC특허분류
H01J 37/3444 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

스퍼터링 배열체로서, 상기 스퍼터링 배열체는 N개의 스퍼터링 음극 또는 서브-음극(T_i , $i = 1$ 내지 N) 및 n개의 스퍼터링 발전기(G_j , $j = 1$ 내지 n)를 포함하고, N은 정수, $N \geq 2$, n은 정수, $n \geq 2$ 이고; 스퍼터링 배열체는 각 스퍼터링 발전기(G_j)의 전력 출력(P_j)을 스위칭하기 위한 브리지 스위치(Sb_j) 및 각 스퍼터링 음극(T_i)에 각 전력 출력(P_j)을 분포시키기 위한 펄스 스위치(Sp_i)를 포함하고; 스퍼터링 배열체는 적어도 2개의 상이한 상호연결 변형에서 작동될 수 있도록 조립되는 것을 특징으로 하고,

· 제1 상호연결 변형(interconnection variant)에서, n개의 스퍼터링 발전기(G_j)의 각 전력 출력(P_j)은 총 스퍼터링 전력(P)이 공급되도록 브리지 스위치에 의해 논리적으로 상호연결될 수 있고, 총 스퍼터링 전력은 전력 출력(P_j)의 합에 대응하고, 즉 $P = \sum_{j=1}^n P_j$ 이고; 각 펄스 스위치에 의한 펄스 시퀀스 생성을 통해, 펄스 전력(P) 및 시퀀스 주기(T)를 갖는 전력 펄스 시퀀스가 생성되고; 개별 전력 펄스는 각 스퍼터링 음극(T_i)에 시간순으로(chronologically) 분포되고; 스퍼터링 음극에는 펄스 시간(t_i) 동안 전력이 각각 공급되고; 주기(T)는 펄스 시간의 합에 대응하고, 즉 $T = \sum_{i=1}^N t_i$ 이고; 및

· 제2 상호연결 변형에서, 스퍼터링 음극은 적어도 2개의 분리된 스퍼터링 서브-배열체 A 및 B에서 작동되고; 스퍼터링 서브-배열체를 작동시키기 위하여, n_A 개의 스퍼터링 발전기 및 n_B 개의 스퍼터링 발전기의 각 전력 출력은 제1 펄스 전력 $P_A = \sum_{j=1}^{n_A} P_j$ 및 제2 펄스 전력 $P_B = \sum_{j=n_A}^n P_j$ 이 공급되도록 브리지 스위치에 의해 논리적으로 상호연결될 수 있고, 여기서 $n_A + n_B = n$ 이고, 여기서 각 펄스 스위치에 의한 각 펄스 시퀀스의 생성을 통해, 펄스 전력(P_A) 및 시퀀스 주기(T_A)를 갖는 제1 전력 펄스 시퀀스 및 펄스 전력(P_B) 및 시퀀스 주기(T_B)를 갖는 제2 전력 펄스 시퀀스가 생성되고; 개별 전력 펄스는 각 스퍼터링 서브-배열체의 스퍼터링 음극에 시간순으로 분포되고, 여기서 N_A 는 제1 스퍼터링 서브-배열체 A의 스퍼터링 음극의 개수에 대응하고, N_B 는 제2 스퍼터링 서브-배열체 B의 스퍼터링 음극의 개수에 대응하고, $N_A + N_B = N$ 이고, 시퀀스 주기(T_A)는 제1 스퍼터링 서브-배열체 A의 스퍼터링 음극에 대한 펄스 시간의 합에 대응하고, 시퀀스 주기(T_B)는 제2 스퍼터링

서브-배열체 B의 스퍼터링 음극에 대한 펄스 시간의 합에 대응하고, 즉 $T_A = \sum_{i=1}^{N_A} t_i$ 이고, $T_B = \sum_{i=N_A}^N t_i$ 인 것인 스퍼터링 배열체.

청구항 2

제1항에 있어서, $N = n$ 인 것을 특징으로 하는 스퍼터링 배열체.

청구항 3

제1항에 있어서, $P_A = P_B$ 인 것을 특징으로 하는 스퍼터링 배열체.

청구항 4

제1항에 있어서, $P = P_A + P_B$ 인 것을 특징으로 하는 스퍼터링 배열체.

청구항 5

제1항에 있어서, $N_A = N_B$ 및/또는 $n_A = n_B$ 인 것을 특징으로 하는 스퍼터링 배열체.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 기재된 스퍼터링 배열체를 갖는 진공 코팅 시스템으로서, 스퍼터링 배열체는, 100 W/cm^2 이상의 높은 스퍼터링 전력 밀도의 사용을 허용하는 고전력 펄스가 스퍼터링 방법의 실행 중에 사용될 수 있는 방식으로 조립되는 것을 특징으로 하는 진공 코팅 시스템.

청구항 7

HiPIMS 방법에 의해 기판을 코팅하는 방법으로, HiPIMS 방법이 제6항에 기재된 진공 코팅 시스템에서 수행되는 것을 특징으로 하는, 기판 코팅 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 적어도 HiPIMS 방법에 의해 층을 증착시키기 위하여, 스퍼터링 배열체를 적어도 2개의 스퍼터링 서브-배열체를 갖는 상호연결 변형으로 스위칭하여, 제1 상호연결 변형에서 스퍼터링 배열체에 의해 수행되는 HiPIMS 방법에 비해 코팅 속도 증가를 달성하는 것을 특징으로 하는, 기판 코팅 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 스퍼터링(sputtering)이라고도 하는 음극 기화(cathodic vaporization)에 의해 PVD 증착 시스템을 증착시키는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 마그네트론 방전에 높은 전력 밀도의 펄스를 사용하는 것, 및 코팅 시스템의 복수의 마그네트론 성분 에 에너지 흐름을 최적으로 분포시키는 것을 포함한다.

배경 기술

[0002] 스퍼터링에 의한 코팅 공정에서, 일반적으로 음극(cathode)으로서 연결된 적어도 하나의 타겟은 플라스마로부터 이온으로 충돌되며, 이는 타겟으로부터 재료가 침식된다. 대개, 이온은 전기장의 도움을 받아 타겟 표면을 향하여 가속된다. 또한, 추가의 자기장이 일반적으로 음극으로서 연결된 타겟 뒤에 위치하여, 플라스마 내의 전자들이 나선형으로 돌리고 스퍼터링될 타겟 표면 위로 원을 그리게 된다. 이는 전자당 충격 횟수를 상당히 증가시켜, 적어도 특정 영역에서 타겟 표면 위에 높은 이온화를 달성하고, 이는 이 영역 바로 아래의 타겟(이하, 스퍼터링 타겟 또는 스퍼터링 음극이라고도 함) 상에 스퍼터링 침식을 증가시키는 결과를 초래한다. 이 경우, 마그네트론 스퍼터링에 전형적인 침식 트랙이 생성되고, 침식 트랙 위의 전자 원이 생성된 영역은 레이스트랙(racetrack)이라고 한다.

[0003] 고전력 임펄스 스퍼터링(High-power impulsesputtering: HiPIMS)은 스퍼터링 또는 마그네트론 스퍼터링의 특정 유형이다. 여기서, 높은 내지 매우 높은 스퍼터링 전력 밀도(이하, 전력 밀도라고도 함)가 사용된다. 높은 스퍼터링 전력 밀도의 사용은 스퍼터링된 재료의 이온화를 초래하는 높은 전류 밀도와 밀접하게 연관된다. 그러나, 공정은 300 W/cm^2 보다 큰 스퍼터링 전력 밀도에서 시작하거나 또는 0.5 A/cm^2 보다 큰 전류 밀도에서 시작하는 HiPIMS로만 치정된다. 종래의 마그네트론 스퍼터링에 의해서는 전력 밀도값이 100 W/cm^2 미만이다. 이 경우 면적은 마그네트론 레이스트랙에 의해 정의되며, 이는 전문가가 알고 있는 사실이다.

[0004] 이러한 맥락에서, 100 W/cm^2 이상, 특히 300 W/cm^2 이상의 전력 밀도(스퍼터링 전력 밀도)는 높은 전력 밀도로 이해된다.

[0005] 이러한 유형의 고전력 밀도가 사용되는 스퍼터링 공정, 특히 HiPIMS에서, 대개 스퍼터링 타겟이라고도 하는 스퍼터링된 타겟 재료의 과열을 방지하기 위하여, 스퍼터링 전력 밀도는 펄스-유사 방식으로 인가되어야 한다. 유럽특허공개 EP2272080B1는 스퍼터링 전력 밀도의 펄스-유사 인가를 기술한다. 이를 위해, 커패시터는 고전압으로 충전되어 스위치를 통해 마그네트론으로 전달된다. 고전압에 의해 스퍼터링 가스의 존재 하에, 마그네트론 방전이 점화되고 커패시터가 전압을 유지할 수 있는 한 스퍼터링 전류가 증가한다. 유럽특허공개 EP2272080B1에 기술된 이 방법은 $10 \mu\text{s}$ 내지 약 $200 \mu\text{s}$ 의 지속시간(duration)을 갖는 스퍼터링 펄스를 생산할 수 있다.

[0006] 국제특허공개 WO/2012/143091은 복수의 스퍼터링 타겟(T_i)에 순차적으로 인가되는 스퍼터링 전력 밀도를 생성하는 방법을 기술한다. 이는 하나의 음극을 서로 절연된 서브-음극들로 분할하거나, 또는 하나의 음극을 사용하는

대신에 복수의 음극을 사용하고, 명확한 스퍼터링 전력을 서브-음극들 또는 음극들에 하나씩(one after another) 순차적인 방식으로 인가하여 전력 펄스가 공급될 수 있도록 하는 것을 제안한다. 이와 관련하여, 스퍼터링 전력은 사용되는 전력 공급 장치에 의해 생성되는 전력이다. 이 경우, 스퍼터링 발전기(G)는 복수의 음극 또는 서브-음극(T_i)(이 경우, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 , 및 T_6) 상에서 사용되고; 전력 밀도 펄스는 발전기(G)에 의한 전력 소비를 중단시키지 않으면서 이들 서브-음극(T_i)에 순차적으로 인가되고; 각각의 전력 밀도 펄스는 2주기($2T$) 동안 발전기(G)의 연속적인 전력 출력에 대하여 예컨대 도 1에 개략된 바와 같이 대응 펄스 시간(t_i) 동안 서브-음극(T_i)에 인가된다. 이러한 경우, 스퍼터링 전력 밀도(또는 이전에 언급한 바와 같이, 전력 밀도라고도 함)는 대응 스퍼터링 음극(T_i) 상의 레이스트랙 면적으로 나눈 발전기 전력(P)을 기반으로 계산된다. 소모된 평균 전력, 즉 스퍼터링 음극의 평균 스퍼터링 전력(P_{av_i} ; 예컨대 kW 단위)은 스퍼터링 전력 밀도(예컨대, kW/cm^2 단위) x 대응 스퍼터링 음극의 레이스트랙 면적(예컨대, cm^2 단위) x 스위치-온 지속시간(예컨대, s 단위) x 스위칭 빈도(switching frequency)(예컨대, s^{-1} 단위)을 기반으로 계산된다.

[0007] 이러한 맥락에서, 스위치-온 지속시간은 스퍼터링 음극 상의 전력 펄스의 작용 지속시간, 즉 대응 스퍼터링 음극(T_i)에서의 펄스 시간(t_i)을 의미하고, 스위칭 빈도는 $1/T$ 로 정의된다.

[0008] 복수($N > 2$)의 스퍼터링 음극(T_i)이 사용되고, 각 스퍼터링 음극(T_i)이 발전기(G)에 의한 동일한 종기로는 일정한 스퍼터링 전력(P)(이러한 의미에서, 펄스 전도(P)라고도 함)으로 1주기(T)와 동등한 시퀀스 지속시간을 갖는 반복 시퀀스로 작동할 경우, 펄스 전력이 각 스퍼터링 음극(T_i)에 가능한 작은 시간 지연을 가지면서 연속적으로 인가되고, 및 각 펄스 시간(t_i)-이 기간 동안 펄스 전력이 각 스퍼터링 음극에 인가됨-이 동등한 길이인 경우, 스퍼터링 음극(T_i)에 의해 소비된 스퍼터링 전력, 즉 스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력(P_{av_i})은 다음과 같다:

[0009]
$$P_{av_i} = P_{av} = P / N \quad (\text{식 } 1)$$

[0010] 여기서,

[0011]
$$P_{av_i} = \text{스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력}$$

[0012]
$$P = \text{발전기로부터의 전력}$$

[0013]
$$N = \text{스퍼터링 음극의 개수}$$

[0014] 스퍼터링 음극당 펄스 시간이 동등하지 않으나($t_1 \neq t_2 \dots$), 그 외엔 작동 방법이 똑같은(즉, 발전기로부터 종기로는 일정한 스퍼터링 전력을 중단시키지 않으면서, 주기(T) 동안 각 스퍼터링 음극에 대한 펄스 전도의 인가 사이에 시간 지연이 없는, 1주기(T)와 동등한 빈도 지속시간을 갖는 반복 시퀀스로 스퍼터링 음극(T_i)의 공급) 경우, 다음 식을 적용한다:

[0015]
$$t_1 \neq t_2 \dots \quad (\text{식 } 2)$$

[0016]
$$P_{av_i} P \cdot t_i / T \quad (\text{식 } 3)$$

[0017]
$$T = \sum_{i=1}^N t_i \quad (\text{식 } 4)$$

[0018]
$$F = 1/T \quad (\text{식 } 5)$$

[0019] 여기서,

[0020]
$$P_{av_i} = \text{각 스퍼터링 음극의 평균 스퍼터링 전력}$$

[0021]
$$t_i = \text{각 스퍼터링 음극의 스위치-온 시간 (펄스 시간)}$$

[0022]
$$T = \text{각 반복 시퀀스의 주기 지속시간}$$

- [0023] F = 반복 시퀀스가 반복되는 빈도
- [0024] 변수 i는 스퍼터링 배열체(arrangement)의 각 개별 스퍼터링 음극을 지칭하며, 즉 스퍼터링 배열체가 N 개의 음극을 포함할 경우, i는 각각 1, 2, 3, ... N을 나타낸다.
- [0025] HiPIMS 방법은 바람직하게는 스퍼터링될 재료로부터 이온화된 재료 증기를 생성하고 음의 기관 바이어스 전압을 인가하여 얇은 층을 생성하는데 사용된다. 이온화된 재료 증기의 이온화 정도는 전류 밀도 또는 이 경우 마그네트론 방전의 스퍼터링 전력 밀도에 의존한다. 스퍼터링된 입자의 높은 이온화로 인해 스퍼터링 타겟으로(즉, 스퍼터링 음극으로) 되돌아오는 이온의 흐름이 일어나서 코팅 속도가 감소된다.
- [0026] 도 2는 인가된 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 특유 코팅 속도(specific coating rate) $\mu\text{m}/\text{KW} \cdot \text{h}$ 의 곡선을 도시한다. 특유 코팅 속도는 식 6에 나타난 바와 같이, 평균 스퍼터링 전력당, 단위 시간(예컨대 코팅 시간)당, 층 두께로 정의되고; 평균 스퍼터링 전력은 스퍼터링 전력 밀도 x 스퍼터링 음극당 레이스트랙 면적으로 정의되기 때문에, 평균 스퍼터링 전력당 코팅 속도로 볼 수 있다.
- [0027] $R_{\text{specif},i} = R/P_{\text{av},i}$ (식 6)
- [0028] 여기서
- [0029] $R_{\text{specif},i}$ = 특유 코팅 속도 $\mu\text{m}/\text{KW} \cdot \text{h}$
- [0030] R = 코팅 속도 $\mu\text{m}/\text{h}$
- [0031] $P_{\text{av},i}$ = 각 스퍼터링 음극의 평균 스퍼터링 전력
- [0032] 도 2의 데이터는 티타늄 방전(즉, 스퍼터링 음극 재료로서 티타늄을 사용한 스퍼터링 방전)에서 측정되었다. 이 실시예에서, 스퍼터링 전력 밀도가 $500 \text{ W}/\text{cm}^2$ 에서 $1800 \text{ W}/\text{cm}^2$ 으로 증가함에 따라, 특유 코팅 속도는 약 절반으로(대략 $6.5 \mu\text{m}/\text{KW} \cdot \text{h}$ 에서 대략 $3.5 \mu\text{m}/\text{KW} \cdot \text{h}$ 로) 감소한다. 이는 더 높은 스퍼터링 전력 밀도를 갖는 코팅 공정이 생산성이 떨어짐을 의미한다.
- [0033] 국제특허공개 WO/2012/143091에 기술되고 식 1으로부터 명백한 바와 같이, 순차적으로 및 시간순으로(chronologically) 균일한 방식으로 복수의 스퍼터링 음극에 하나씩 연이어 인가된 전력 펄스의 사용에 의해, 스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력은 스퍼터링 발전기에서 또는 전력 공급 장치에서 설정된 스퍼터링 전력(펄스 전력이라고도 함) 및 관여된 스퍼터링 음극의 수에 의해 결정된다. 이는, 불가피하게 스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력($P_{\text{av},i}$)을 감소시키고 배열체에서 이것 외에 다른 설정 파라미터는 동일하게(변경없이) 둬으로써 특유 코팅 속도를 증가시키도록, 의도적으로 스퍼터링 전력 밀도를 감소시키기 위하여 발전기에서 설정된 전력(P)을 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, 이는 평균 스퍼터링 전력당 코팅 속도가 낮은 스퍼터링 전력 밀도의 사용으로 인해 수학적으로 증가하더라도, 스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력 자체는 감소하므로, 이러한 방식으로 생산성 증가가 달성될 수 없다는 모순된 상황을 초래한다. 이는 도 3에 기반하여 더욱 상세하게 설명될 것이다.
- [0034] 도 3은 (스퍼터링 음극당) 스퍼터링 전력 밀도를 변화시키기 위하여, 발전기에서 설정된 펄스 전력(P)만을 변화시킬 경우, 티타늄의 특유 코팅 속도를 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 계산하여, 도 1에 도시된 6개의 서브-음극을 갖는 배열체에서 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 코팅 속도의 곡선을 도시한다. 이는, 이러한 HiPIMS 배열체에서 펄스 전도(P)의 감소를 통한 스퍼터링 전력 밀도의 감소에 의해 평균 스퍼터링 전력이 급격히 감소하여, 코팅 속도 자체가 평균 스퍼터링 전력 보다 더 급격하게 감소하기 때문에 특유 코팅 속도 또한 감소한다는 것을 명확하게 보여준다.
- [0035] 이와 관련하여, 이러한 HiPIMS 배열체의 전력 밀도(및 그에 따라 이온화 정도)의 설정에 대한 낮은 융통성을 바탕으로, 많은 층 특성들이 스퍼터링 전력 밀도 및 이온화 정도(타겟 재료에도 의존함)에 의해 영향을 받기 때문에, 상이한 층 특성을 갖는 층들을 증착시키는데 있어 융통성이 낮다는 것 또한 문제가 된다. 이러한 배열체의 경우, 생산성 증가를 달성하기 위하여 스퍼터링 전력 설정과 관련된 코팅 속도를 최적화시키기가 매우 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0036] 본 발명의 목적은 스퍼터링 배열체, 및 펄스화된(pulsed) 스퍼터링에 의해, 특히 고전력 밀도 펄스에 의한 스퍼터링에 의해, 보다 정확하게는 생산성 손실을 초래하지 않고 스퍼터링 전력 밀도를 변화시킬 수 있는 HiPIMS에 의해 코팅 공정을 수행하는 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0037] 상기 목적은 각각 펄스 전력(P_j)을 생성하는 스퍼터링 발전기(G_j)의 네트워크를 갖는 스퍼터링 배열체를 제공하는 본 발명에 따라 달성된다.

[0038] 본 발명은 스퍼터링 배열체, 진공 코팅 시스템, 및 HiPIMS 코팅 방법을 수행하는 방법에 관한 것으로; 상기 스퍼터링 배열체는 적어도 2개의 상이한 상호연결(interconnection) 가능성을 갖고, 2개의 스퍼터링 서브-조립체가 고전력 펄스에 의해 동시에 작동되는 제2 상호연결 가능성으로의 스위치는 생산성 증가를 달성한다.

[0039] 본 발명은 아래의 실시예에 기반하여 상세하게 설명될 것이다:

[0040] N 개의 스퍼터링 음극(T_i)은 결과 $P_{av_i} = P \times t_i / T$ 가 스퍼터링 전력 밀도를 결정하는 전력(P)의 모든 값에 대하여 최적 또는 최대를 나타낸다는 사실을 달성하기 위하여 n 개의 스퍼터링 발전기(G_j)에 연결되어야

한다; 이 실시예에서, 전력(P)은 발전기에 의해 출력되는 전력(P_j)의 합으로 정의된다: $P = \sum_{j=1}^n P_j$

[0041] 도 4a는 예시적으로 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체를 도시하는데, 이는 스퍼터링 발전기(G_j)의 네트워크를 포함한다. 도 4b는 수반하는 스퍼터링 전력 펄스(P_j)의 시간순 분포를 도시하며, 여기서:

[0042] P_j = 스퍼터링 전력, 각 발전기(G_j)에 의해 정의됨. 예를 들어, 도 4에서 n 은 6이고, 즉 계수 j 는 이 예시에서 1에서 6까지 변화된다.

[0043] Sb_j = 각 발전기(G_j)의 전력 출력(P_j)을 스위칭하기 위한 브리지 스위치

[0044] Sp_i = 각 스퍼터링 음극(T_i)에 전력을 순차적으로 공급하기 위한 (각 스퍼터링 음극(T_i)에 스퍼터링 전력을 순차적으로 인가하기 위한) 펄스 스위치; 예를 들어 도 4에서 N 은 6이고, 즉 계수 j 는 이 예시에서 1에서 6까지 변화되고; 각 스퍼터링 음극(T_i)에는 스퍼터링 전력(P)이 공급되고; 이 경우 스퍼터링 전력은 발전기의 전력 출력의 합에 대응한다, 즉 $P = \sum_{j=1}^n P_j$.

[0045] 도 4a에 유사하게 도시된 스퍼터링에서, 각 발전기(G_j)의 전력 출력(P_j)의 합인 총 스퍼터링 전력(P)이 공급되도록(즉, $P = \sum_{j=1}^n P_j$, 여기서, $n = 6$ 이면, $P = P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6$), 6개의 스퍼터링 발전기(G_j)의 전력 출력은 브리지 스위치에 의해 논리적으로(logically) 상호연결된다. 예를 들어, 제어된 IGBT 스위치 $Sp1$ 내지 $Sp6$ 에 의한 펄스 시퀀스 생성을 통해, 전력 펄스의 시퀀스는 도 4b에 도시한 바와 같이 생성될 수 있다. 개별 전력 펄스는 펄스 전력(진폭)(P)을 갖는다. 복수의 발전기는 중단 없이 작동된다.

[0046] 펄스 시간이 동일하고, 즉 $t_i = t_{i+1}$ (즉, 이 실시예의 경우 $t_1=t_2=t_3=t_4=t_5=t_6$)이고, 개별 발전기의 전력 출력이 동일한, 즉, $P_1=P_2=P_3=P_4=P_5=P_6$ 인 경우, 다음 식이 적용된다:

[0047] $P_{av_i} = 6 \times P_j / 6 = P_j$

[0048] $P = 6 \times P_{g_j}$

[0049] 도 5a 및 b는 스퍼터링 음극이 2개의 분리된 스퍼터링 서브-배열체로 작동하는 브리지 회로의 본 발명에 따른 또 다른 상호연결이 사용된 것을 제외하고는 도 4에 도시된 것과 동일한 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체를 도시한다.

[0050] 도 5a로부터 명백한 바와 같이, 브리지 스위치($Sb3$)의 개방은 발전기가 2개의 그룹에서 논리적으로 상호연결되게 한다. 즉, 이 실시예에서는, 제1 펄스 전력 $P_A = P_1+P_2+P_3$ 을 제공하기 위하여 3개의 발전기(G_1, G_2 , 및 G_3)가 제1 서브-배열체(A)에서 논리적으로 상호연결되고, 제2 펄스 전력 $P_B = P_4+P_5+P_6$ 을 제공하기 위하여 나머지 3개

의 발전기(G_4, G_5, G_6)가 제2 서브-배열체(B)에서 논리적으로 상호연결된다. 유사한 방식으로, 3개의 각 스퍼터링 음극은 제1 서브-배열체에 이용가능하게 되고, 나머지 3개의 스퍼터링 음극은 제2 서브-배열체에 이용가능하게 되어, 예컨대 스퍼터링 음극(T_1, T_2 , 및 T_3)에는 펄스화된 순차적 방식으로 제1 펄스 전력(P_A)이 제공되고, 나머지 3개의 스퍼터링 음극(T_4, T_5 , 및 T_6)에는 펄스화된 순차적 방식으로 제2 펄스 전력(P_B)이 제공된다.

[0051] 이러한 방식으로, IGBT 스위치 Sp1 내지 Sp3 및 Sp4 내지 Sp6의 배선은 동일하거나 상이한 펄스 시간(t_i)으로 또한 동일하거나 상이한 주기(T_A 및 T_B)로 완전히 분리된 펄스 시퀀스 또는 동시발생의(synchronous) 펄스 시퀀스로 수행될 수 있다. 펄스 전력 $P_A=P_1+P_2+P_3$ 및 $P_B=P_4+P_5+P_6$ 은 총 펄스 전력 $P=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6$ 보다 낮다는 것을 주목해야 한다. 따라서, 도 4에 도시된 바와 같은 스퍼터링 배열체의 상호연결과 비교하여, 도 5에 도시된 바와 같은 2개의 서브-배열체의 상호연결에 의하여 스퍼터링 음극(T_i)에 더 낮은 스퍼터링 음극당 스퍼터링 전력 밀도가 인가된다. 그러나, 도 5의 서브-배열체에서 스퍼터링 음극당 평균 스퍼터링 전력(P_{av_i})은 도 4의 스퍼터링 배열체에서와 동일하게 유지된다.

[0052] 본 발명 및 도 2의 통찰에 따라, 이들 2개의 서브-배열체의 상호연결에 의한 총 코팅 속도는 도 4에서와 같은 단일 스퍼터링 배열체의 상호연결에 의한 것에 비해 크다.

[0053] 개별 스퍼터링 음극(T_i)에서 개별 전력 펄스(P_j)의 펄스 시간(t_i)이 동일하고(즉, $t_1=t_2=t_3=t_4=t_5=t_6$), 개별 발전기(G_i)의 출력 전력이 동일한($P_1=P_2=P_3=P_4=P_5=P_6$) 경우, 다음 식이 적용된다:

[0054]
$$P_{av_{iA}} = P_{av_{iB}} = n_A * P_j / n_A = n_B * P_j / n_B = 3 * P_i / 3 = P_i$$

[0055]
$$P_{av} = P_j$$

[0056] A 및 B 서브-배열체에서 펄스 전력 = $P_A = P_B = 3 * P_j$

[0057] 도 6a 및 b는 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체의 제3 논리적 상호연결을 도시하며, 이는 본 발명에 따라 도 4 및 도 5에서 입증한 바와 같이 상호연결될 수 있다. 이 설정에 의해, 브리지 스위치는 모두 개방된다. 각 스퍼터링 음극(T_i)은 개별 발전기에 연관된다. 각 스퍼터링 음극(T_i)에 대한 스퍼터링 전력(P_c)은 P_j 에 대응한다. 이는 추가로 스퍼터링 전력 밀도를 감소시킨다. 그러나, 평균 스퍼터링 전력은 도 4 및 도 5의 실시예 방식에서 보인 바와 같은 상호연결에서와 동일하다. 도 2에 도시된 통찰에 따르면, 제3 상호연결에 의해 코팅 속도는 도 4 및 도 5의 설정에서 얻은 것보다 더 크다.

[0058] 개별 발전기(G_j)의 전력(P_j)이 동일한 경우, 다음 식이 적용된다:

[0059]
$$P_{av} = P_j$$

[0060] 펄스 전력 = $P_c = P_j$

[0061] 6개의 스퍼터링 발전기 및 6개의 타겟(스퍼터링 음극)을 포함하는 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체를 기반으로 하는 상기 설명으로부터, 전문가는 $n \neq 6$ 및/또는 $N \neq 6$ 인, n 개의 발전기 또는 확장 및 마찬가지로 N 개의 스퍼터링 음극으로의 확장을 쉽게 추론할 수 있다.

[0062] 코팅 속도의 실시예:

[0063] 도 7은 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체가 도 4의 상호연결에서 도 5의 상호연결로 스위칭될 경우, 코팅 속도의 증가를 도시한다. 상이한 스퍼터링 재료가 도 4 및 도 5의 실시예에서의 설정에 따라 스퍼터링 음극에서 상호연결되었고, 대응하는 코팅이 증착되었다.

[0064] 도 4에 따른 상호연결의 경우 스퍼터링 전력 밀도는 $1800W/cm^2$ 이었고, 도 5에 따른 상호연결의 경우 스퍼터링 전력 밀도는 $900W/cm^2$ 이었다. 평균 스퍼터링 전력은 두 경우 모두에서 동일하였다. 도 7에 도시된 바와 같이, 모든 스퍼터링 재료에 대하여 코팅 속도 증가를 확인할 수 있었다. 도 4에 따른 상호연결에 의한 스퍼터링 배열체에서 전력 밀도가 펄스 전력(P)을 감소시킴으로써 감소되었다면, 코팅 속도 역시 실질적으로 절반으로 감소되었을 것이므로, 코팅 속도 증가를 달성하지 못했을 것이고, 그에 따라 생산성 증가가 없었을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0065]

도 1은 6개의 서브-음극 T_1 내지 T_6 (스퍼터링 음극이라고도 함)을 갖는 스퍼터링 배열체에서 펄스 전도(P)에 의한 전력 펄스(스퍼터링 펄스라고도 함)의 시간순 분포를 도시한다. 전력 펄스는 스퍼터링 발전기(G)에 의한 전력 소모의 중단 없이, 6개의 서브-음극에 하나씩 순차적으로 인가되고, 여기서 t_1 은 주기(T) 동안 제1 서브-음극(T_1)에 인가되는 전력 펄스의 펄스 시간이고, 유사한 방식으로 t_2 는 동일한 주기(T) 동안 제2 서브-음극(T_2)에 인가되는 전력 펄스의 펄스 시간이다; 이 실시예에서, 펄스 시간(t_i)($i = 1$ 내지 6)은 $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6$ 이 되도록 선택되었다. 하나의 타겟(본 명세서에서 스퍼터링 음극)으로부터 다른 타겟으로의 스퍼터링 전력 전달의 시간순 시퀀스는 전술한 바와 같이 발전기의 관점에서 전력(P)의 중단 없이 일어난다. 시퀀스 t_1 내지 t_6 은 주기(T)로 반복하고, 마찬가지로 발전기의 관점에서 중단 없이 일어난다. 도 1의 실시예에서, 펄스 시간 t_1 내지 t_6 은 동일한 길이인 것으로 도시된다. 그러나, 서브-음극(T_i)의 각 펄스 시간(t_i)은 개별적으로 설정될 수 있다.

도 2는 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 티타늄의 특유 코팅 속도의 곡선을 도시한다.

도 3은 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 티타늄의 특유 코팅 속도를 계산하여, 도 1에 도시한 6개의 서브-음극을 갖는 스퍼터링 배열체에 따른 스퍼터링 전력 밀도의 함수로서 코팅 속도의 곡선을 도시한다.

도 4 (도 4a 및 도 4b 포함)는 본 발명에 따른 스퍼터링 발전기의 네트워크를 갖는 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체의 일 구현예를 도시하고(도 4a), 스퍼터링 발전기들은 스퍼터링 전력 펄스의 관련된 시간순 분포가 가능하도록 논리적으로 상호연결되고; 펄스 전도는 각각 $P = P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6$ 이고, 스퍼터링 전력 펄스는 특정 펄스 시간(t_1) 동안 각 서브-음극(T_1)에 인가되고, 즉 펄스 시간(t_1) 동안 서브-음극(T_1)에 인가되고, 펄스 시간(t_2) 동안 서브-음극(T_2)에 인가되는 식이다(도 4b).

도 5 (도 5a 및 도 5b 포함)는 본 발명에 따른 또 다른 상호연결을 제외하고는 도 4에서와 동일한 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체의 구현예를 도시하고(도 5a), 상기 상호연결은 스퍼터링 배열체가 2개의 상이한 스퍼터링 서브-배열체 A 및 B에서 동시에 작동가능하도록 만든다. 도 5b는 스퍼터링 서브-배열체에서 전력 펄스의 대응하는 시간순 분포를 도시하고; 서브-배열체 A에서 전력은 $P_A=P_1+P_2+P_3$ 이고 서브-배열체 B에서 전력은 $P_B=P_4+P_5+P_6$ 이다.

도 6 (도 6 및 도 6b 포함)은 본 발명에 따른 또 다른 상호연결을 제외하고는 도 4 및 도 5에서와 동일한 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체의 구현예를 도시하고(도 6a), 여기서 전력 펄스는 더 이상 생성되지 않는 대신, 각 스퍼터링 음극에 각 스퍼터링 발전기 G_1 내지 G_6 의 전력이 각각 연속적으로 공급된다(도 6b).

도 7은 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체가 도 4의 상호연결로부터 도 5의 상호연결로 스위칭될 경우의 코팅 속도 증가를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0066]

본 발명은 구체적으로 다음 발명을 개시한다:

[0067]

- N개의 스퍼터링 음극 또는 서브-음극(T_i , $i = 1$ 내지 N) 및 n개의 스퍼터링 발전기(G_j , $j = 1$ 내지 n)를 갖는 스퍼터링 배열체로서, N은 정수, $N \geq 2$, n은 정수, $n \geq 2$ 이고; 스퍼터링 배열체는 각 스퍼터링 발전기(G_j)의 전력 출력(P_j)을 스위칭하기 위한 브리지 스위치(Sb_j) 및 각 스퍼터링 음극(T_i)에 각 전력 출력(P_j)을 분포시키기 위한 펄스 스위치(Sp_i)를 포함하고; 스퍼터링 배열체는 적어도 2개의 상이한 상호연결 가능성에서 작동될 수 있도록 조립되는 것인 스퍼터링 배열체; 및

[0068]

· 제1 상호연결 변형(interconnection variant)에서, n개의 스퍼터링 발전기(G_j)의 각 전력 출력(P_j)은 총 스퍼터링 전력(P)이 공급되도록 브리지 스위치에 의해 논리적으로 상호연결될 수 있고, 총 스퍼터링 전력은 전력 출력(P_j)의 합에 대응하고, 즉 $P = \sum_{j=1}^n P_j$ 이고; 각 펄스 스위치에 의한 펄스 시퀀스 생성을 통해, 펄스 전력(P) 및 시퀀스 주기(T)를 갖는 전력 펄스 시퀀스가 생성되고; 개별 전력 펄스는 각 스퍼터링 음극(T_i)에 시간순으로

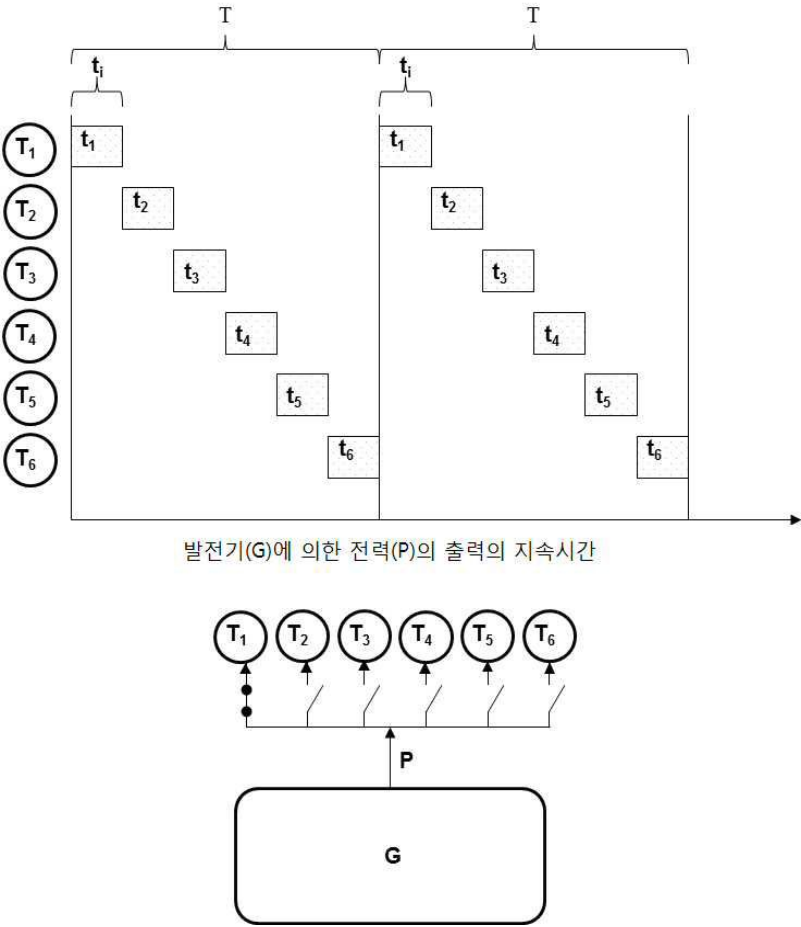
분포되고; 스퍼터링 음극에는 펄스 시간(t_i) 동안 전력이 각각 공급되고; 주기(T)는 펄스 시간의 합에 대응하고, 즉 $T = \sum_{i=1}^N t_i$ 이고; 및

[0069] · 제2 상호연결 변형에서, 스퍼터링 음극은 적어도 2개의 분리된 스퍼터링 서브-배열체 A 및 B에서 작동되고; 스퍼터링 서브-배열체를 작동시키기 위하여, n_A 개의 스퍼터링 발전기 및 n_B 개의 스퍼터링 발전기의 각 전력 출력은 제1 펄스 전력 $P_A = \sum_{j=1}^{n_A} P_j$ 및 제2 펄스 전력 $P_B = \sum_{j=n_A}^n P_j$ 이 공급되도록 브리지 스위치에 의해 논리적으로 상호연결될 수 있고, 여기서 $n_A + n_B = n$ 이고, 여기서 각 펄스 스위치에 의한 각 펄스 시퀀스의 생성을 통해, 펄스 전력(P_A) 및 시퀀스 주기(T_A)를 갖는 제1 전력 펄스 시퀀스 및 펄스 전력(P_B) 및 시퀀스 주기(T_B)를 갖는 제2 전력 펄스 시퀀스가 생성되고; 개별 전력 펄스는 각 스퍼터링 서브-배열체의 스퍼터링 음극에 시간순으로 분포되고, 여기서 N_A 는 제1 스퍼터링 서브-배열체 A의 스퍼터링 음극의 개수에 대응하고, N_B 는 제2 스퍼터링 서브-배열체 B의 스퍼터링 음극의 개수에 대응하고, $N_A + N_B = N$ 이고, 시퀀스 주기(T_A)는 제1 스퍼터링 서브-배열체 A의 스퍼터링 음극에 대한 펄스 시간의 합에 대응하고, 시퀀스 주기(T_B)는 제2 스퍼터링 서브-배열체 B의 스퍼터링 음극에 대한 펄스 시간의 합에 대응하고, 즉 $T_A = \sum_{i=1}^{N_A} t_i$ 이고, $T_B = \sum_{i=N_A+1}^N t_i$ 이다.

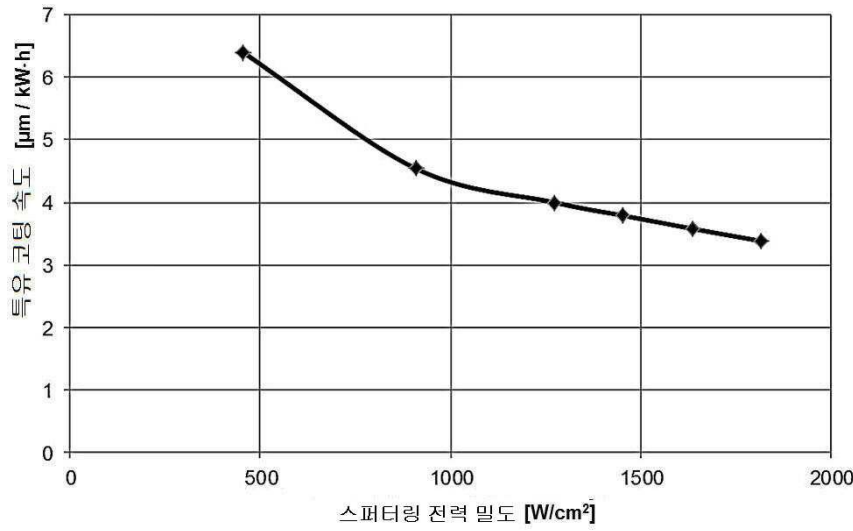
- [0070] - 전술한 바와 같은 본 발명에 따른 스퍼터링 배열체를 갖는 진공 코팅 시스템; 상기 스퍼터링 배열체는, 100 W/cm^2 이상, 특히 300 W/cm^2 이상의 높은 스퍼터링 전력 밀도의 사용을 허용하는 고전력 펄스가 스퍼터링 방법의 실행 중에 사용될 수 있는 방식으로 조립된다.
- [0071] - 종기로는 $N = n$ 인 전술한 바와 같은 진공 코팅 시스템.
- [0072] - 종기로는 $P_A = P_B$ 인 전술한 바와 같은 진공 코팅 시스템.
- [0073] - 종기로는 $P = P_A + P_B$ 인 전술한 바와 같은 진공 코팅 시스템.
- [0074] - 종기로는 $N_A = N_B$ 및/또는 $n_A = n_B$ 인 전술한 바와 같은 진공 코팅 시스템.
- [0075] - HiPIMS에 의해 기판을 코팅하는 방법, 여기서 HiPIMS 방법은 전술한 본 발명의 진공 코팅 시스템 중 하나와 같은 진공 코팅 시스템에서 수행된다.
- [0076] - 적어도 HiPIMS 방법에 의해 층을 증착시키기 위하여, 스퍼터링 배열체를 적어도 2개의 스퍼터링 서브-배열체를 갖는 상호연결 변형으로 스위칭하여, 제1 상호연결 변형에서 스퍼터링 배열체에 의해 수행되는 HiPIMS 방법에 비해 코팅 속도 증가를 달성하는 것인 전술한 바와 같은 방법.

도면

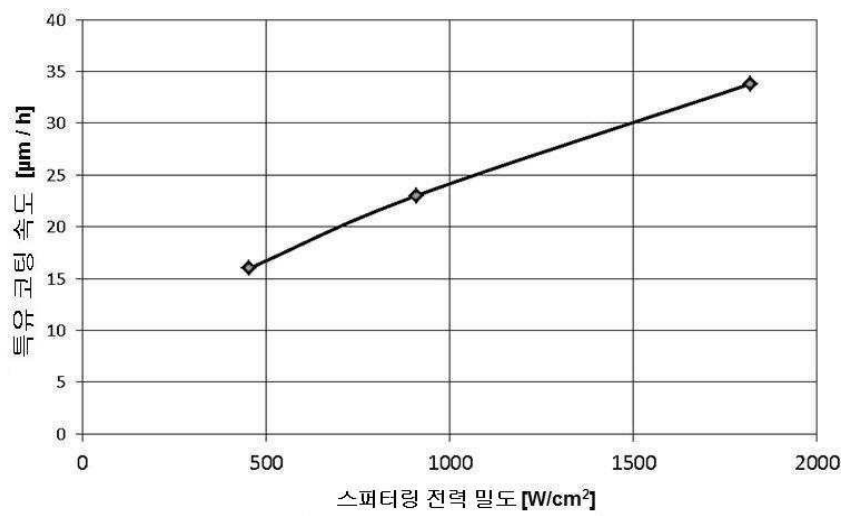
도면1



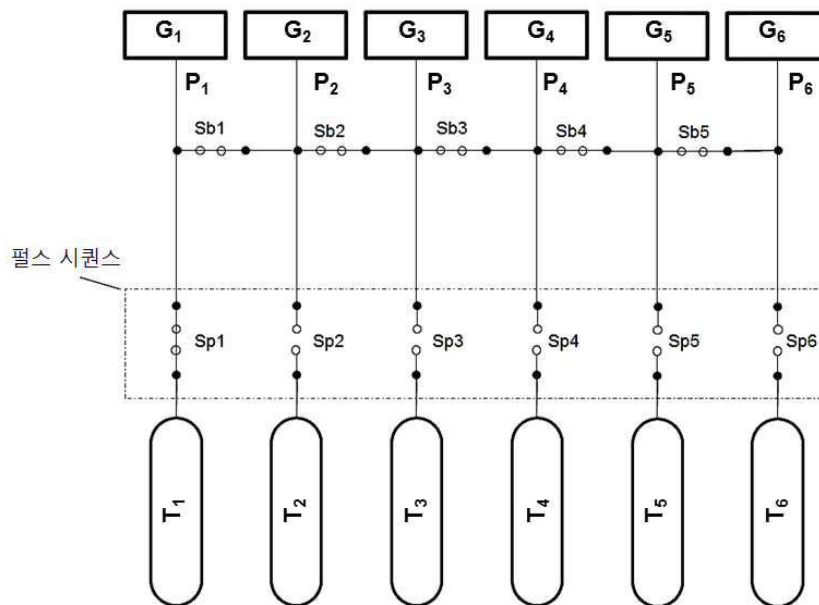
도면2



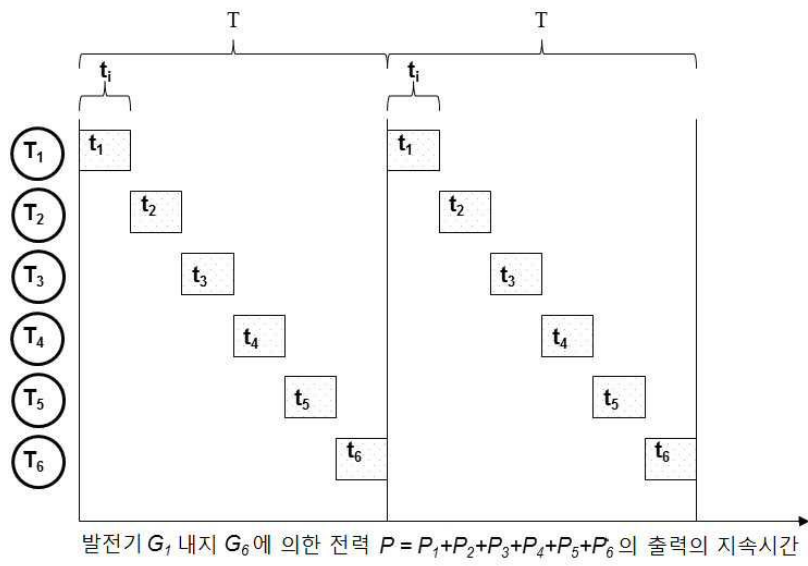
도면3



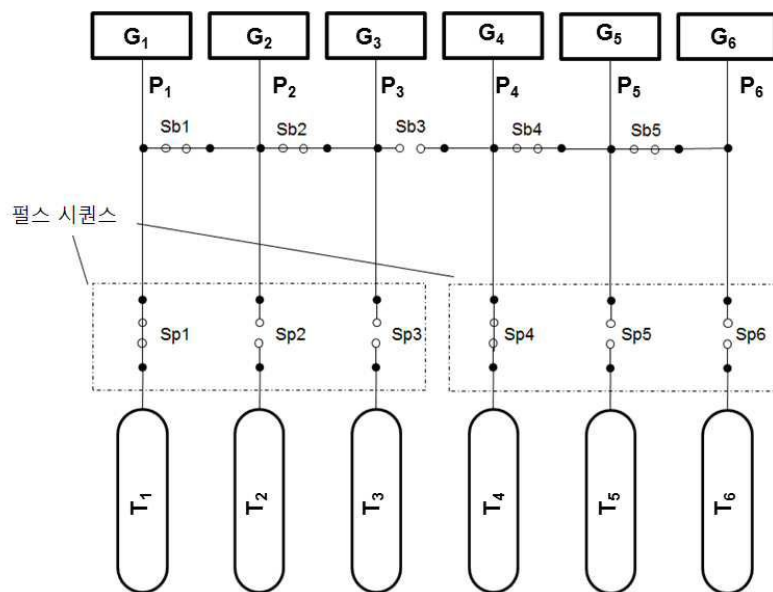
도면4a



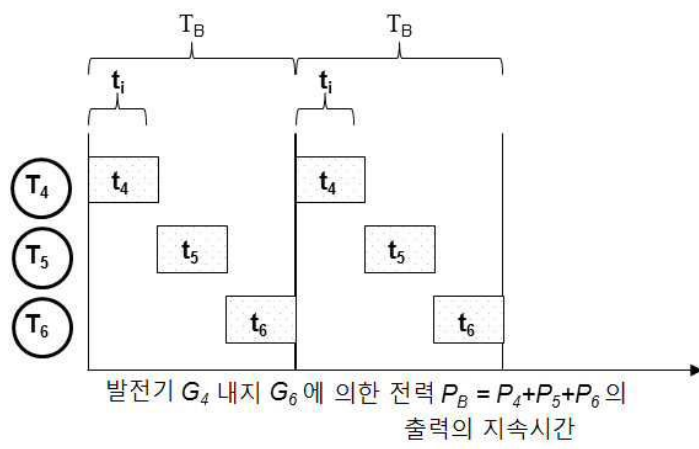
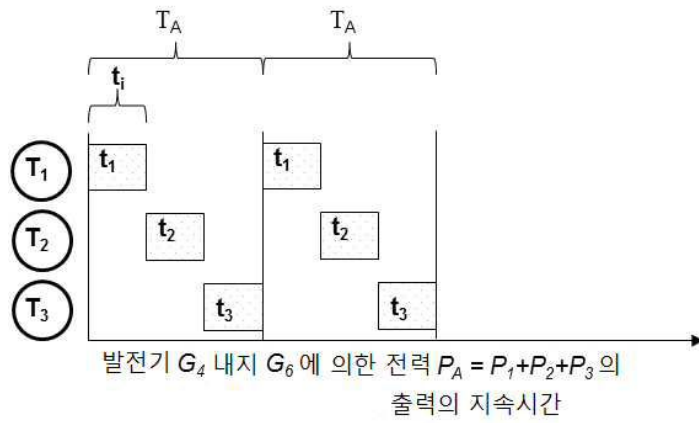
도면4b



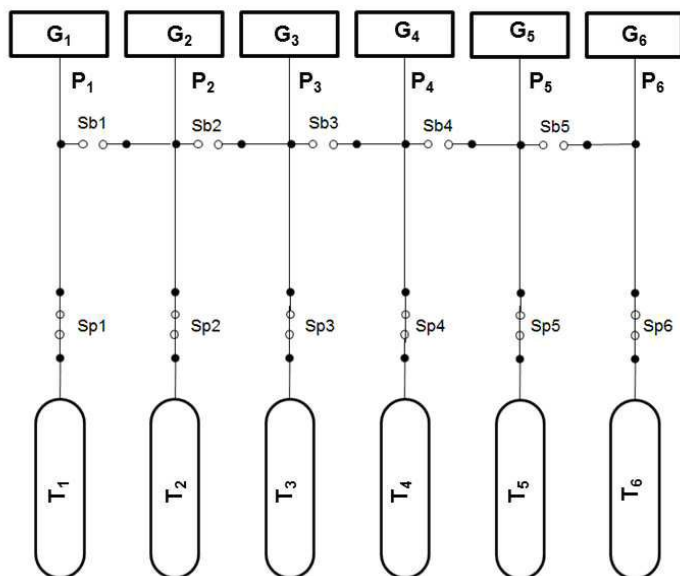
도면5a



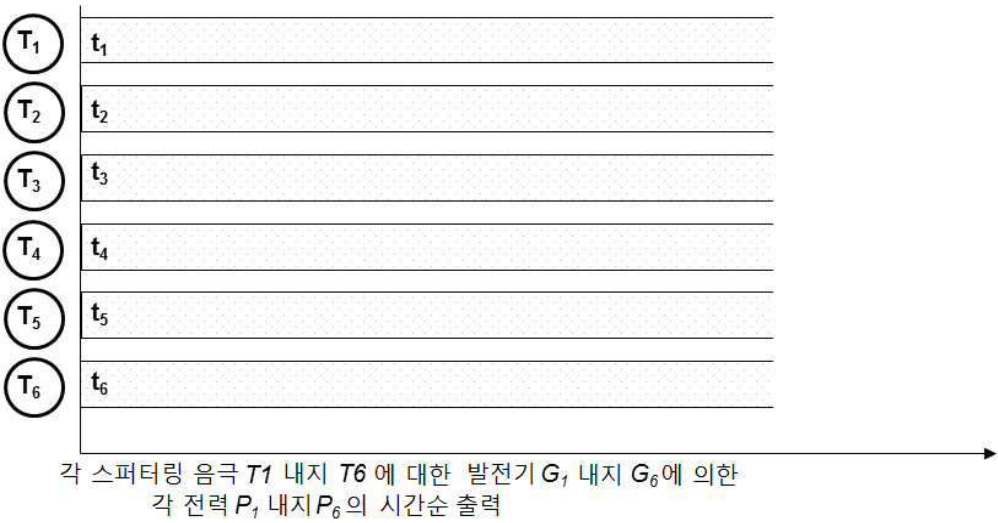
도면5b



도면6a



도면6b



도면7

