

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2011년 4월 28일 (28.04.2011)



(10) 국제공개번호
WO 2011/049366 A2

- (51) 국제특허분류:
G21C 17/003 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2010/007195
- (22) 국제출원일: 2010년 10월 20일 (20.10.2010)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2009-0100232 2009년 10월 21일 (21.10.2009) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 한국표준과학연구원 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) [KR/KR]; 대전광역시 유성구 도룡동 1, 305-340 Daejeon (KR).
- (72) 발명자: 김
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 김용일 (KIM, Yong Il) [KR/KR]; 대전광역시 서구 만년동 강변아파트 101 동 502 호, 302-741 Daejeon (KR). 윤동진 (YOON, Dong Jin) [KR/KR]; 대전광역시 유성구 어은동 99 번지 한빛아파트 106 동 1406 호, 305-755 Daejeon (KR). 이승

석 (LEE, Seung Seok) [KR/KR]; 서울특별시 서초구 반포동 반포아파트 10 동 501 호, 137-040 Seoul (KR).

(74) 대리인: 권오식 (KWON, Oh-Sig) 등; 대전광역시 서구 둔산동 921 주은리더스텔 4 층, 302-120 Daejeon (KR).

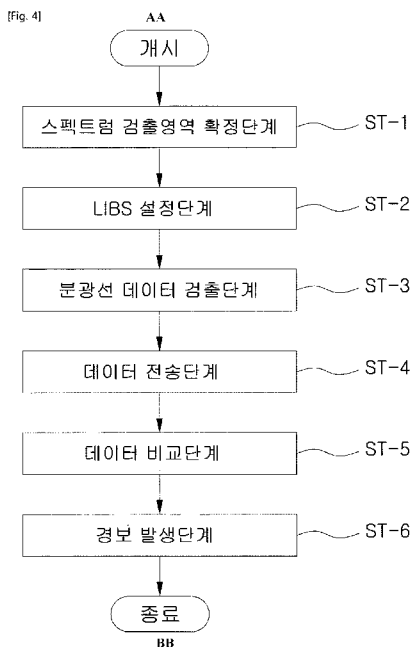
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR DETECTING DEFECTS OF NUCLEAR REACTOR

(54) 발명의 명칭 : 원자로 결함 검출시스템 및 그 방법



AA ... Start
BB ... End
ST-1 ... Spectrum detection area is determined
ST-2 ... LIBS is set
ST-3 ... Spectral line data are detected
ST-4 ... Data are transmitted
ST-5 ... Data are compared
ST-6 ... Alarm is sounded

(57) Abstract: The present invention relates to a system and a method for detecting defects of a nuclear reactor. The system and the method for detecting the defects of the nuclear reactor can detect micro-defects in the early stage by intensive monitoring atomic spectral lines of a preset scanning range through a laser induced plasma spectroscopy and detecting a boric acid precipitate, thereby preventing a radiation leakage or a reactor explosion beforehand which can happen in a nuclear reactor. The present invention can effectively detect the boric acid precipitate in ppm level through a predetermined value without a pre-process for a target area to be detected, and can effectively recognize the micro-defects in the early stage by detecting the boric acid precipitate in a remote place using a noncontact method.

(57) 요약서: 본 발명은 원자로 결함 검출시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 레이저 유도 플라즈마 분광법을 통해 미리 세팅된 주사범위의 원자 분광선을 집중적으로 모니터링 하여 방사선 석출물을 검출함으로써, 미소 결함을 조기에 검출할 수 있으며, 그로인해 원자로에서 발생할 수 있는 방사능 누출 또는 원자로 폭발사고를 미연에 방지할 수 있게 한 원자로 결함 검출시스템 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다. 본 발명을 적용하면, 검출 대상 영역의 전처리 과정 없이도 기설정값을 통해 ppm 수준으로 방사선 석출물을 효과적으로 검출할 수 있으며, 원격지에서 비접촉으로 방사선 석출물을 검출해낼 수 있으므로 조기에 원자로의 미소 결함을 효과적으로 인지할 수 있게 된다는 장점이 있다.



TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

명세서

발명의 명칭: 원자로 결합 검출시스템 및 그 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 원자로 결합 검출시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게 레이저 유도 플라스마 분광법을 통해 미리 세팅된 주사범위의 원자 분광선을 집중적으로 모니터링 하여 붕산 석출물을 검출함으로써, 미소 결함을 조기에 검출할 수 있으며, 그로인해 원자로에서 발생될 수 있는 방사능 누출 또는 원자로 폭발사고를 미연에 방지할 수 있게 한 원자로 결합 검출시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 주지된 바와 같이, 원자력 발전소의 원자로 헤드 제어봉 구동부 노즐(CRDM(Control Rod Drive Mechanism)노즐)이나 BMI(Bottom Mounted instrument)영역, 제어봉은 응력부식 균열(PWSCC)에 의해 손상이 발생한다.
- [4] 즉, 부식으로 인해 응력강도가 취약한 지점을 위주로 결함이 발생되고 있으며, 결함 발생 시 원자로 내부의 높은 압력으로 인해 고부식성의 붕산이 원자로 용기의 헤드나 BMI로 유출되어 방사능이 누출될 우려가 높아진다.
- [5] 더불어, 붕산 누출로 인해 원자로 헤드 덮개의 탄소강이 부식될 수 있으며, 그 부식으로 대기압의 150배에 달하는 고압을 받는 원자로가 터지는 폭발 사고가 발생될 수 있다는 문제점이 있었다.
- [6] 따라서 원자로 결합 검출의 경우에는 선진국의 사례에 따라 검출의 필요성은 느끼고 있었으나, 검사 장비나 경험이 거의 전무한 상태였다.
- [7] 또한, 원자로 결합 검출장비 또는 모니터링 장비는 대부분 외산 장비이므로 장비의 국산화가 시급한 실정이고, 종래의 원자로 결합 검출장비 또는 모니터링 장비는 한국특허공개번호 1990-3907호와 같이, 육안으로 결함을 모니터링 하는 방식이었으므로 보다 정밀도가 높으면서 조기에 결함을 검출해낼 수 있는 기술의 개발이 시급한 실정이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 본 발명은 상기한 종래 기술의 사정을 감안하여 이루어진 것으로, 레이저 유도 플라스마 분광법을 통해 미리 세팅된 주사범위의 원자 분광선을 집중적으로 모니터링 하여 붕산 석출물을 검출함으로써, 미소 결함을 조기에 검출할 수 있으며, 그로인해 원자로에서 발생될 수 있는 방사능 누출 또는 원자로 폭발사고를 미연에 방지할 수 있게 한 원자로 결합 검출시스템 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

[9]

과제 해결 수단

- [10] 상기한 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 제어봉 및 원자로 헤드 덮개가 원자로 용기에 포함된 원자로에 있어서, 상기 원자로 용기에 구성되어 검출 대상영역으로 이동되는 위치 이동장치의 상단에 구성되며, 검출 대상영역에 레이저 펄스를 발생시켜 그 검출 대상영역의 스펙트럼을 수집하고, 원격 감시장치로 전송하는 봉산 석출물 검출장치와; 상기 봉산 석출물 검출장치로부터 스펙트럼 데이터를 수신하여, 기설정된 스펙트럼 데이터와 비교함으로써 봉산 석출물 검출 여부를 판단하여 미소 결함의 발생 유무를 감시하고, 결함에 따른 경보를 발생시키는 원격 감시장치로 이루어진 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.
- [11] 바람직하게, 상기 검출 대상영역은 CRDM(Control Rod Drive Mechanism)노즐, BMI(Bottom Mounted Instrument) 노즐, 제어봉, 원자로 헤드 덮개 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.
- [12] 바람직하게, 상기 봉산 석출물 검출장치는 그 내부에 레이저 펄스를 발생시켜 검출 대상영역에 대한 스펙트럼을 검출하는 레이저 유도 플라즈마 분광장치와; 그 레이저 유도 플라즈마 분광장치로부터 각 검출 대상영역별 스펙트럼 광신호를 인가받아 수집하는 광신호 수집부와; 수집된 스펙트럼 광신호를 원격 감시장치로 전송하는 통신모듈이 포함된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.
- [13] 바람직하게, 상기 원격 감시장치는 그 내부에 상기 봉산 석출물 검출장치로부터 스펙트럼 데이터를 수신 받는 통신모듈과; 스펙트럼 데이터를 비교 분석하여 원자로의 결함을 감지하는 원자로 결함 감시부가 포함된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.
- [14] 바람직하게, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치는 단일 파장의 레이저를 발생시키는 레이저 발생원과; 상기 레이저 발생원으로부터 발생된 레이저광을 편광 처리하는 제 1, 2 편광기와; 상기 제 1, 2 편광기를 통과한 레이저광을 반사시키는 제 1, 2, 3, 4 반사경과; 상기 제 4 반사경에 의해 반사된 레이저광을 감쇠시키는 홀미러와; 상기 홀미러를 통과한 레이저광을 검출 대상영역에 집광시키는 렌즈와; 검출 대상영역에 형성된 레이저 플라즈마로부터 방사광을 집속하는 콜리메이터와; 상기 콜리메이터를 통해 입사되는 광을 분광하는 분광기와; 분광기를 통과한 광을 검출하는 검출기를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.
- [15] 바람직하게, 상기 원자로 결함 감시부는 그 내부에 상기 봉산 석출물 검출장치로부터 전송된 스펙트럼 데이터에 포함된 노이즈신호를 제거하는 노이즈 제거필터와; 봉산의 농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위 및 지연시간을 설정하는 설정부와; 스펙트럼 데이터를 통해 봉산 석출물 검출여부를 비교 판단하여 경보 발생을 제어하는 마이컴과; 봉산의

농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위 및 지연시간 정보를 저장하고, 결함 미발생시 검출 대상영역의 재료에 대한 정상 스펙트럼 데이터와 저장한 메모리와; 상기 봉산 석출물 검출장치로부터 전송된 스펙트럼 데이터와 정상 스펙트럼 데이터를 비교하는 비교부와; 각 스펙트럼 데이터를 화면으로 출력하는 표시부와; 상기 표시부를 구동하는 표시구동부와; 경보를 발생시키는 부저와; 상기 마이컴으로부터 제어신호를 인가받아 부저를 구동하는 경보구동부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다.

- [16] 바람직하게, 상기 레이저 발생원은 UV(자외선)에서 IR(적외선) 범위 내의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치인 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다. 이 때, 상기 레이저 발생원은 1064 nm, 532 nm, 355 nm 중에서 선택되는 어느 하나의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치인 것이 더욱 바람직하다.
- [17] 바람직하게, 봉산의 농도가 ppm수준 이상이며, 검출대상영역의 재료가 SA533 또는 SA508인 경우, 상기 설정부에 설정된 지연시간은 $10\mu s$ 이며, 주사범위는 247nm 내지 250.5nm인 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템이 제공된다. 이 때, 봉산의 농도가 1000, 3000, 5000 ppm중 어느 하나인 것이 더욱 바람직하다.
- [18] 한편, 본 발명은 결함 검출 대상영역의 재료 종류와 봉산의 농도에 따라 스펙트럼 검출구간 및 지연시간을 확정하는 제 1단계와; LIBS에 확정된 스펙트럼 검출구간과 지연시간을 설정하는 제 2단계와; 분광 스펙트럼 데이터를 검출하는 제 3단계; 스펙트럼 데이터를 전송하는 제 4단계와; 검출 영역의 스펙트럼 데이터를 정상 스펙트럼 데이터와 비교하는 제 5단계와; 봉산 스펙트럼 구간의 피크치 검출 시 경보를 발생시키는 제 6단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출방법이 제공된다.
- [19] 바람직하게, 상기 제 2 단계는 봉산의 농도가 ppm수준 이상이며, 검출대상영역의 재료가 SA533 또는 SA508인 경우, 상기 설정부에 설정된 지연시간은 $10\mu s$ 이며, 주사범위는 247nm 내지 250.5nm로 설정하는 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출방법이 제공된다. 이 때, 봉산의 농도가 1000, 3000, 5000 ppm중 어느 하나인 것이 더욱 바람직하다.

[20]

발명의 효과

- [21] 본 발명에 따른 원자로 결함 검출시스템 및 그 방법은 검출 대상영역의 전처리 과정 없이도 기설정값을 통해 ppm 수준으로 봉산 석출물을 효과적으로 검출할 수 있으며, 원격지에서 비접촉으로 봉산 석출물을 검출해낼 수 있으므로 조기에 원자로의 미소 결함을 효과적으로 인지할 수 있게 된다는 장점이 있다.

[22]

도면의 간단한 설명

- [23] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템의 개략적인 구성을 도시한 블록도
- [24] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템에 포함된 레이저 유도 플라즈마 분광장치를 도시한 도면
- [25] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템에 포함된 원격 감시장치의 구성을 도시한 블록구성도
- [26] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템의 신호흐름을 도시한 플로우차트
- [27] 도 5는 봉산 석출물 시편을 나타내는 도면
- [28] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템으로 분석한 지연시간별 봉소 분광선 검출 스펙트럼
- [29] 도 7은 도 6의 봉소 분광선 스펙트럼 검출영역을 확대한 도면
- [30] 도 8 및 도 9는 시편별 봉소 분광선 스펙트럼의 검출상태를 나타내는 도면
- [31]

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [32] 이하, 본 발명에 대해 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [33] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템의 개략적인 구성을 도시한 블록도, 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템에 포함된 레이저 유도 플라즈마 분광장치를 도시한 도면이다.
- [34] 이를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템은 레이저 유도 플라즈마 분광법을 통해 미리 세팅된 주사범위의 원자 분광선을 집중적으로 모니터링 하여 봉산 석출물을 검출함으로써, 미소 결합을 조기에 검출할 수 있으며, 그로인해 원자로에서 발생될 수 있는 방사능 누출 또는 원자로 폭발사고를 미연에 방지할 수 있게 한 시스템이다.
- [35] 보다 상세하게, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템(2)은 제어봉 및 원자로 헤드 덮개가 원자로 용기에 포함된 원자로에 적용되어 봉산 석출물을 검출하기 위한 시스템으로서, 크게 상기 원자로 용기(미도시)에 Mock-Up으로 구성되어 검출 대상영역으로 이동되는 위치 이동장치(12)의 상단에 구성되며, 검출 대상영역에 레이저 펄스를 발생시켜 그 검출 대상영역의 스펙트럼을 수집하고, 원격 감시장치(20)로 전송하는 봉산 석출물 검출장치(4)와; 상기 봉산 석출물 검출장치(4)로부터 스펙트럼 데이터를 수신하여, 기설정된 스펙트럼 데이터와 비교함으로써 봉산 석출물 검출 여부를 판단하여 미소 결합의 발생 유무를 감시하고, 결합에 따른 경보를 발생시키는 원격 감시장치(20)로 이루어진다.
- [36] 상기 위치 이동장치(12)는 원자로 용기의 내부에 다수의 검출 대상영역으로의 위치 이동이 가능하게 Mock-Up으로 구성된 다관절 로봇장치이며, 그 상단에 상기 봉산 석출물 검출장치(4)가 구성되어 레이저 플라즈마를 검출할 수 있도록

다수의 검출 대상영역으로 상기 봉산 석출물 검출장치(4)를 이동시키는 기능을 수행하는 바, 본 발명은 이러한 위치 이동장치(12)에 관한 발명이 아니므로 상세 설명은 생략하기로 한다.

- [37] 상기 봉산 석출물 검출장치(4)를 통해 원자로의 결함을 검출하고자 하는 상기 검출 대상영역은 CRDM(Control Rod Drive Mechanism)노즐, BMI(Bottom Mounted Instrument) 노즐, 제어봉, 원자로 헤드 덮개 중 어느 하나인 바, 특히 방사능 누출이 가능한 용접 부위에 대해 봉산 석출물의 집중적으로 감시할 수 있으며, 원격 감시 및 비접촉 감시를 통해 관리자가 접근하기 불가능한 영역까지 원자로 결함을 실시간으로 감시할 수 있다.
- [38] 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템(2)에 포함된 상기 봉산 석출물 검출장치(4)는 그 내부에 레이저 펄스를 발생시켜 검출 대상영역(7)에 대한 스펙트럼을 검출하는 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)와; 그 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)로부터 각 검출 대상영역(7)별 스펙트럼 광신호를 인가받아 수집하는 광신호 수집부(8)와; 수집된 스펙트럼 광신호를 원격 감지장치(20)로 전송하는 통신모듈(10)이 포함된다.
- [39] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템(2)에 포함된 상기 원격 감지장치(20)는 그 내부에 상기 봉산 석출물 검출장치(4)로부터 스펙트럼 데이터를 수신 받는 통신모듈(22)과; 스펙트럼 데이터를 비교 분석하여 원자로의 결함을 감지하는 원자로 결함 감시부(24)가 포함된다.
- [40] 이때, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)는 단일 파장의 레이저를 발생시키는 레이저 발생원(26)과; 상기 레이저 발생원(26)으로부터 발생된 레이저광(32)을 편광 처리하는 제 1, 2 편광기(28,30: Polarizer)와; 상기 제 1, 2 편광기(28,30)를 통과한 레이저광을 반사시키는 제 1, 2, 3, 4 반사경(34,36,40,42)과; 상기 제 4 반사경(42)에 의해 반사된 레이저광을 감쇠시키는 홀미러(44)와; 상기 홀미러(44)를 통과한 레이저광을 검출 대상영역(7)에 집광시키는 렌즈(46)와; 검출 대상영역(7)에 형성된 레이저 플라즈마로부터 방사광을 집속하는 콜리메이터(48)와; 상기 콜리메이터(48)를 통해 입사되는 광을 광섬유(50)를 통해 인가받아 분광하는 분광기(52)와; 분광기(52)를 통과한 광을 검출하는 검출기(54)를 포함하여 구성된다.
- [41] 바람직하게, 상기 레이저 발생원(26)은 UV(자외선)에서 IR(적외선) 범위 내의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치로서, 실제 제품으로서는 Q-switched 펄스 Nd:YAG 레이저 (Continuum Inc. Surelite II-10)로 1064 nm 파장과 10 Hz의 반복속도(repetition rate) 그리고 최고 650 mJ/pulse의 에너지를 발생시킬 수 있는 레이저 발생장치를 채택하는 것이 좋겠다. 물론 이는 하나의 실시예로 이로써 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 상기 레이저 발생원(26)은 상술한 바와 같이 UV(자외선)에서 IR(적외선) 범위 내의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치이되, 1064 nm, 532 nm, 355 nm 중에서 선택되는 어느 하나의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치인 것이 더욱 바람직하다.

- [42] 한편, 본 발명에서는 원거리 봉산 석출물 검출을 위한 Focus probing을 구현하기 위하여 레이저를 집중시킬 수 있는 렌즈[초점거리(focal length): 80 mm, 작동거리(working distance): 67.4 mm, Number of aperture (NA): 0.15]로, 4.515 μm 의 크기의 레이저의 초점을 구현하도록 한다.
- [43] 또한, 상기 검출기(54)는 분광기(52)를 통하여 분리된 파장 별 빛의 세기를 데이터 수집 및 처리 장치로 전달할 수 있도록 전기적 또는 기계적 신호로 변환시키는 장치로써, 일정 영역에서 방출되는 분광선을 동시에 측정할 수 있고, 빠른 반응속도와 짧은 시간에 개폐(gating)가 가능한 ICCD (Intensified Charge Coupled Device)를 검출기로 사용하였다.
- [44] 이때, 상기 검출기(54)는 레이저광을 검출대상영역에 조사하여 플라즈마를 형성시킨 후, 레이저 광의 발생을 정지시키면서 일정한 지연시간동안 셔터(Shutter)를 개방하여 검출대상영역에서 발생된 원자 분광선만을 검출기(54)의 내부로 유입시키도록 구성된 바, 본 발명에서는 보다 간단한 장치의 구성을 위해, 지연시간동안의 셔터(Shutter) 개방을 통한 원자 분광선 검출처리 구성 대신 원자 분광선만을 통과시킬 수 있는 밴드패스필터(미도시)를 구성할 수도 있다.
- [45] 그러면, 상기 레이저발생원(26)을 빈번하게 스위칭 하여 생기는 전력소모를 감소시킬 수 있으며, 일정한 시간동안 셔터(Shutter)의 개폐(gating)를 하지 않아도 되므로 구성이 간단해지게 된다.
- [46] 또한, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)는 상기 레이저 발생원(26)에서 발생된 레이저광을 광파이버(미도시)에 의해 홀미러(44)까지 이송될 수 있게 구성할 수 있다. 즉, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)에 구성된 광학계를 생략하고 광파이버가 레이저광의 이송을 담당하도록 구성하는 것도 충분히 가능하며, 본 발명의 요지를 이탈하는 구성이 아니므로 본 발명의 권리범위에 속함을 미리 밝힌다.
- [47] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템에 포함된 원격 감시장치의 구성을 도시한 블록구성도이다.
- [48] 이를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템에 포함된 상기 원자로 결합 감시부(24)는 그 내부에 상기 봉산 석출물 검출장치(4)로부터 전송된 스펙트럼 데이터에 포함된 노이즈신호를 제거하는 노이즈 제거필터(60)와; 봉산의 농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위 및 지연시간을 설정하는 설정부(62)와; 스펙트럼 데이터를 통해 봉산 석출물 검출여부를 비교 판단하여 경보 발생을 제어하는 마이컴(64)과; 봉산의 농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위 및 지연시간 정보를 저장하고, 결합 미발생시 검출 대상영역(7)의 재료에 대한 정상 스펙트럼 데이터를 저장한 메모리(66)와; 상기 봉산 석출물 검출장치(4)로부터 전송된 스펙트럼 데이터와 정상 스펙트럼 데이터를 비교하는 비교부(68)와; 각 스펙트럼 데이터를 화면으로 출력하는 표시부(72)와; 상기 표시부(72)를 구동하는 표시구동부(70)와; 경보를

발생하는 부저(76)와, 상기 마이컴(64)으로부터 제어신호를 인가받아 부저를 구동하는 경보구동부(74)를 포함하여 구성된다.

- [49] 바람직하게, 상기 설정부(62)에서 설정되는 설정 값은 지연시간과 주사범위이며, 그 지연시간과 주사범위의 설정을 결정하는 요소는 붕산의 농도 및 검출 대상영역의 재료이다. 즉, 붕산의 농도가 ppm수준 이상이며, 검출대상영역(7)의 재료가 SA533 또는 SA508인 경우, 상기 설정부에 설정된 지연시간은 $10\mu\text{s}$ 이며, 주사범위는 247nm 내지 250.5nm으로 설정하는 것이 효과적인 붕산 석출물에 대한 스펙트럼 분석이 이루어질 수 있다. 이 때, 붕산의 농도가 1000, 3000, 5000 ppm중 어느 하나인 것이 더욱 바람직하다.
- [50] 이때, 상기 검출대상영역(7)의 재료인 SA533 또는 SA508은 원자로 헤드용 소재이다.
- [51] 상기한 구성의 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템의 기능과 작용을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [52] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템의 신호흐름을 도시한 플로우차트이다.
- [53] 먼저, 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템(2)을 통해, 결함 검출 대상영역의 재료 종류와 붕산의 농도에 따라 스펙트럼 검출구간 및 지연시간을 확정한다(ST-1).
- [54] 붕산 석출물에 대한 육안 검사(VT)는 이루어지고 있으나, 세계적으로 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)를 이용한 레이저 유도 플라즈마의 스펙트럼 분석을 통해 붕산 석출물에 대한 감시는 전무한 상태이므로, 이를 위해 먼저 시편 제작 및 붕산 석출실험을 통해 최적의 스펙트럼 검출구간 및 지연시간을 도출해내기로 한다.
- [55] [붕산 석출 실험예]
- [56] 붕산을 석출시키기 위한 시편으로 원자로 헤드용 소재로 사용되는 SA533, SA508의 두 종류의 소재를 사용하여 붕산 석출물을 만들기 위한 시편(20 x 20 x 2 mm)을 제작한다. 제작된 시편은 홈을 내어 붕산 용액이 바로 흘러 내리지 않도록 하였다.
- [57] 상업적으로 판매되고 있는 붕산(H_3BO_3) 분말을 구입하여 붕산(H_3BO_3)을 저울을 사용하여 정량한 다음, 증류수(distilled water)에 녹여 ppm수준 이상의 농도별(예를 들어 1000, 3000, 5000 ppm와 같이 농도별 용액을 제작할 수 있으며, 이하의 실시예 설명에서는 이 예시를 사용한다)붕산 용액을 제작하여 붕산 석출을 위한 용액으로 사용하였다.
- [58] 붕산 석출물은 원자로 헤드용 소재인 SA533, SA508을 가열판(hot plate)위에 놓고 실제 원자로의 가동온도와 같은 온도인 300 °C로 30분간 유지시켜 시편 전체가 일정한 온도가 유지 될 수 있도록 한 다음, 주사기를 사용하여 농도별(1000, 3000, 5000 ppm)로 제작된 붕산용액을 SA533, SA508의 소재로 제작한 시편(20 x 20 x 2 mm)의 홈에 떨어뜨려 붕산 석출물이 형성되도록 하였다.

- [59] 300 °C로 유지시킨 시편에 농도별(1000, 3000, 5000 ppm)로 제작된 붕산용액을 주사기를 사용하여 매일 3회씩 붕산용액을 시편에 떨어뜨리는 방식으로 5일, 15일 및 30일간 붕산을 석출시킨 시편을 도 5에 도시된 바와 같이 제작하였다.
- [60] 본 발명의 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)를 통해서 수집할 수 있는 레이저 유도 플라즈마는 시간에 따라서 여러 순간적인 상태로 구분할 수 있는데, 초기에는 레이저가 조사된 후 높은 전자 및 이온 밀도를 나타내며 제동복사(bremsstrahlung) 발광에 의하여 연속적 배경 방출(continuum background emission) 신호와 Stark 효과에 의하여 선폭 넓어짐(line broadening) 현상이 발생하기 때문에 높은 P/N비 나타내는 데이터를 얻기 위하여 레이저유도 플라즈마 분광에서는 데이터의 수집하는 시간을 레이저가 발생된 시점에서 수에서 수십 μ s 정도 늦추게 되는데 이를 지연시간(delay time)이라고 한다.
- [61] 따라서 본 시스템에서 붕소 분광선 검출을 위한 최적의 지연시간(delay time)과 붕소(B)에 대한 기준(reference) 분광선 검출을 하기 위하여 분말 형태의 붕산(H_3BO_3)을 단일축 압축성형기를 사용하여 지름 10 mm, 두께 약 2 mm인 pellet형태로 제작하였다.
- [62] 분광선 수집을 파장이 1064 nm의 Nd-YAG 레이저와 분광선의 범위를 200 - 975 nm으로 한정하여 수집한 결과, 250 nm 근처에서 붕소에 해당되는 원자 분광선을 관찰 할 수 있었으며, 또한 붕산의 화학식에서 알 수 있듯이 붕산을 구성하고 있는 수소에 의한 분광선과 이와 함께 대기에서 원자 분광선을 측정하였기 때문에 대기를 구성하고 있는 산소나 질소에 의한 분광선도 검출되었다. (여기에서 1064nm의 레이저를 사용하였으나 물론 이는 하나의 실시예일 뿐으로, 상술한 바와 같이 UV(자외선)에서 IR(적외선) 범위 내의 파장을 가지는 레이저라면 어떤 것이라도 사용할 수 있고, 바람직하게는 1064 nm, 532 nm, 355 nm 중에서 선택되는 어느 하나의 파장을 가진 레이저를 사용할 수 있다. 이하의 실시예 설명에서는 이 예시를 사용한다.)
- [63] 여러 가지 원자 분광선으로부터 붕소에서만 나오는 원자 분광선을 수집하기 위해서는 레이저 유도 플라즈마 분광에서는 검출기와 플라즈마의 발생시간과의 지연시간이 필요한데, 지연시간에 따라 분광선의 세기가 달라지므로 원자 분광선 관찰 시 지연시간은 중요한 변수 가운데 하나임을 알 수 있었다.
- [64] 따라서 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템(2)에 가장 효과적으로 적용될 수 있는 원자 분광선의 주사-범위를 240 - 270 nm 으로 한정시키고, 붕소이외의 원소에 의해 발생되는 분광선이 검출되지 않도록 검출기로 들어오는 신호에 시간지연(gate delay)을 2, 5, 10 μ s로 변화시켜 붕소 분광선을 관찰한 결과 최적의 시간지연(gate delay)은 10 μ s임을 도 6과 7의 스펙트럼 데이터를 통해 알 수 있었다.
- [65] 상기한 전처리 실험을 통해, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결함 검출시스템(2)에 적용할 주사범위 및 지연시간이 붕소의 농도 및 검출 대상의 재료가 고려되어 확보된 바, 본 발명에서는 원자로 헤드용 소재인 SA533,

SA508로 제작한 시편을 300 °C로 유지된 상태에서 농도별((1000, 3000, 5000 ppm)로 붕산 용액을 주사기를 사용하여 매일 3회씩 붕산용액을 시편에 떨어뜨리는 방식으로 5일, 15일 및 30일 동안 석출시킨 시편 각각에 대하여, 1064 nm의 파장을 가진 Nd:YAG 레이저를 사용하였을 때 붕소 분광선 관찰에 최적의 지연시간(delay time)결정 실험으로부터 얻어진 시간지연(gate delay)을 10 μ s로 고정하였으며, 또한 분광선의 주사 범위는 247에서 250.5 nm로 범위에서만 붕소 분광선 관찰 실험을 수행하였다.

- [66] 석출물을 생성시키는데 소요되는 시간이 증가할수록 시편의 표면에 흰색의 석출물의 많이 생성됨을 알 수 있었으며, 5일, 15일 및 30일 동안 석출시킨 시편 가운데 육안으로도 흰색의 붕산 석출물이 발생 되었다는 것을 식별할 수 있는 15일 및 30일간 붕산을 석출시킨 시편에 대해서는 레이저유도플라즈마분광법으로 붕소 분광선을 관찰하는 것은 의미가 없으므로, 육안으로 식별하기 어려운 5일간 석출시킨 시편에 대해서만 붕소 분광선을 관찰하는 실험을 하였다.
- [67] 농도가 다른 붕산용액(1000, 3000, 5000 ppm)을 사용하여 5일간 각각 SA533, SA508에 석출물을 생성시킨 시편에 대하여 붕소 분광선을 측정한 결과, 모든 농도별 붕산 석출물을 석출 시편에 대해서 붕소 분광선에 해당되는 249. 67 nm의 붕소 원자의 분광선을 도 8 및 도 9에 나타난 바와 같이 관찰 할 수 있었다.
- [68] 제작된 시편의 매트릭스 종류, 즉 SA533, SA508의 소재에 관계없이 붕소 분광선을 검출하였으며, 석출물 생성을 위해 사용된 붕산 용액의 출발 농도가 높을수록 249. 67 nm에 해당되는 붕소 분광선의 강도(intensity)가 증가됨을 볼 수 있었다.
- [69] 이와 함께, 원자로 헤드용 소재로 사용되는 SA533, SA508의 두 종류의 소재에 대하여 동일한 출발 농도를 사용하여 붕산을 석출시킨 석출물에 대하여 붕소 분광선의 강도는 SA508로 만든 시편에서 더 높은 강도의 분광선을 관찰 할 수 있었다.
- [70] 이것은 레이저 유도플라즈마 분광으로 분광선을 검출하기 위해서는 레이저를 검출 대상체에 조사시켜 플라즈마를 발생시키는데, 이렇게 발생된 플라즈마에는 대상체를 구성하는 있는 물질들이 플라즈마 상태에 있다가 시간의 함수로써 대상체 구성원소마다 고유한 분광선들을 방출하게 된다.
- [71] 이와 같이 레이저 유도플라즈마 분광에서 가장 먼저 해야 하는 것은 대상체의 플라즈마를 만드는 것인데, 본 연구와 같이 기관위에 석출된 물질로부터 분광선을 검출하기 위하여 레이저가 시편에 조사되게 되면 레이저의 에너지는 석출물뿐만 아니라 기관에도 전달되기 때문에 기관의 물성에 따라 플라즈마의 밀도가 달라진다.
- [72] 즉, 사용되는 기관의 표면의 전자밀도와 전자이동도가 높은 경우에 플라즈마 발생이 용이하고 동일한 에너지에서 플라즈마 밀도가 증가하게 되므로, 발생되는 분광선이 강도도 함께 증가하게 된다. 이런 것을 고려하였을 때

SA508이 SA533보다 동일한 에너지를 가지는 레이저를 조사시켰을 때 플라즈마 생성이 용이하고, 더 높은 플라즈마 밀도가 얻어져 동일한 출발 붕산 농도에서 얻어진 붕소 분광선의 강도가 크게 나온 것으로 판단할 수 있다.

- [73] 상기한 바와 같은 실험예를 통해, 본 발명의 일실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템(2)에 적용할 스펙트럼 검출구간 및 지연시간이 구해지게 되면, 그 검출구간 및 지연시간을 각 검출 대상영역별 및 농도별로 메모리(66)에 저장하고, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)(LIBS: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)에 확정된 스펙트럼 검출구간과 지연시간을 설정한다(ST-2).
- [74] 그 상태에서, 상기 레이저 발생원(26)에서 발생된 레이저광을 검출 대상영역으로 유입시켜 해당 검출 대상영역의 레이저 플라즈마를 분광시켜 스펙트럼 데이터를 검출한다(ST-3).
- [75] 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)에 의해 검출 대상영역의 스펙트럼 데이터가 수집되면, 상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치(6)는 통신모듈(10)을 매개하여 상기 원격 감시장치(20)로 해당 스펙트럼 데이터를 전송한다(ST-4).
- [76] 그러면, 상기 원격 감시장치(20)는 검출 영역의 스펙트럼 데이터를 인가받아, 정상 스펙트럼 데이터와 비교하여 붕산 스펙트럼의 검출 유무를 감시한다(ST-5).
- [77] 만약, 상기 원격 감시장치(20)에서 붕산 스펙트럼 구간의 피크치 검출시에는 경보를 발생한다(ST-6).
- [78] 따라서 본 발명의 실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템을 통해, 검출 대상영역의 전처리 과정 없이도 기설정값을 통해 ppm 수준으로 붕산 석출물을 효과적으로 검출할 수 있으며, 원격지에서 비접촉으로 붕산 석출물을 검출해낼 수 있으므로 조기에 원자로의 미소 결함을 효과적으로 인지할 수 있게 된다.
- [79] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 원자로 결합 검출시스템 및 그 방법은 단지 상기한 실시예에 한정되는 것이 아니라 그 기술적 요지를 이탈하지 않는 범위 내에서 다양한 변경이 가능하다.

[80]

서열목록 Free Text

- [81] 4: 붕산 석출물 검출장치 6: 레이저유도 플라즈마 분광장치
- [82] 8: 광신호수집부 10, 22: 통신모듈
- [83] 12: 위치이동장치 20: 원격 감시장치
- [84] 24: 원자로 결합감시부 62: 설정부
- [85] 64: 마이컴 66: 메모리
- [86] 68: 비교부

청구범위

- [청구항 1] 제어봉 및 원자로 헤드 덮개가 원자로 용기에 포함된 원자로에 있어서,
상기 원자로 용기에 구성되어 검출 대상영역으로 이동되는 위치 이동장치의 상단에 구성되며, 검출 대상영역에 레이저 펄스를 발생시켜 그 검출 대상영역의 스펙트럼을 수집하고, 원격 감시장치로 전송하는 봉산 석출물 검출장치와;
상기 봉산 석출물 검출장치로부터 스펙트럼 데이터를 수신하여, 기설정된 스펙트럼 데이터와 비교함으로써 봉산 석출물 검출 여부를 판단하여 미소 결함의 발생 유무를 감시하고, 결함에 따른 경보를 발생시키는 원격 감시장치로 이루어진 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템.
- [청구항 2] 제 1항에 있어서,
상기 검출 대상영역은 CRDM(Control Rod Drive Mechanism)노즐, BMI(Bottom Mounted Instrument) 노즐, 제어봉, 원자로 헤드 덮개 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템.
- [청구항 3] 제 1항에 있어서,
상기 봉산 석출물 검출장치는 그 내부에 레이저 펄스를 발생시켜 검출 대상영역에 대한 스펙트럼을 검출하는 레이저 유도 플라즈마 분광장치와;
그 레이저 유도 플라즈마 분광장치로부터 각 검출 대상영역별 스펙트럼 광신호를 인가받아 수집하는 광신호 수집부와;
수집된 스펙트럼 광신호를 원격 감시장치로 전송하는 통신모듈이 포함된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템.
- [청구항 4] 제 1항에 있어서,
상기 원격 감시장치는 그 내부에 상기 봉산 석출물 검출장치로부터 스펙트럼 데이터를 수신 받는 통신모듈과;
스펙트럼 데이터를 비교 분석하여 원자로의 결함을 감지하는 원자로 결함 감시부가 포함된 것을 특징으로 하는 원자로 결함 검출시스템.
- [청구항 5] 제 3항에 있어서,
상기 레이저 유도 플라즈마 분광장치는 단일 파장의 레이저를 발생시키는 레이저 발생원과;
상기 레이저 발생원으로부터 발생된 레이저광을 편광 처리하는 제 1, 2 편광기와;
상기 제 1, 2 편광기를 통과한 레이저광을 반사시키는 제 1, 2, 3, 4 반사경과;

상기 제 4 반사경에 의해 반사된 레이저광을 감쇠시키는 홀미러와;
상기 홀미러를 통과한 레이저광을 검출 대상영역에 집광시키는
렌즈와;

검출 대상영역에 형성된 레이저 플라즈마로부터 방사광을
집속하는 콜리메이터와;

상기 콜리메이터를 통해 입사되는 광을 분광하는 분광기와;
분광기를 통과한 광을 검출하는 검출기를 포함하여 구성된 것을
특징으로 하는 원자로 결합 검출시스템.

[청구항 6]

제 4항에 있어서,

상기 원자로 결합 감시부는 그 내부에,

상기 봉산 석출물 검출장치로부터 전송된 스펙트럼 데이터에
포함된 노이즈신호를 제거하는 노이즈 제거필터와;

봉산의 농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위
및 지연시간을 설정하는 설정부와;

스펙트럼 데이터를 통해 봉산 석출물 검출여부를 비교 판단하여
경보 발생을 제어하는 마이컴과;

봉산의 농도와 검출 대상영역의 재료에 따라 분광선의 주사범위
및 지연시간 정보를 저장하고, 결합 미발생시 검출 대상영역의
재료에 대한 정상 스펙트럼 데이터를 저장한 메모리와;

상기 봉산 석출물 검출장치로부터 전송된 스펙트럼 데이터와 정상
스펙트럼 데이터를 비교하는 비교부와;

각 스펙트럼 데이터를 화면으로 출력하는 표시부와;

상기 표시부를 구동하는 표시구동부와;

경보를 발생하는 부저와;

상기 마이컴으로부터 제어신호를 인가받아 부저를 구동하는
경보구동부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 원자로 결합
검출시스템.

[청구항 7]

제 5항에 있어서,

상기 레이저 발생원은 UV(자외선)에서 IR(적외선) 범위 내의
파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치인 것을 특징으로 하는
원자로 결합 검출시스템.

[청구항 8]

제 5항에 있어서,

상기 레이저 발생원에서 발생된 레이저광은 광파이버에 의해
홀미러까지 이송될 수 있게 구성할 수 있는 것을 특징으로 하는
원자로 결합 검출시스템.

[청구항 9]

제 5항에 있어서,

상기 분광기와 검출기의 사이 또는 검출기 전단에는
검출대상영역의 원자 분광선만을 통과시키기 위한

밴드패스필터가 더 포함될 수 있는 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출시스템.

[청구항 10]

제 7항에 있어서,
상기 레이저 발생원은 1064 nm, 532 nm, 355 nm 중에서 선택되는 어느 하나의 파장을 가진 레이저광을 발생시키는 장치인 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출시스템.

[청구항 11]

제 6항에 있어서,
붕산의 농도가 ppm수준 이상이며, 검출대상영역의 재료가 SA533 또는 SA508인 경우, 상기 설정부에 설정된 지연시간은 10 μ s이며, 주사범위는 247nm 내지 250.5nm인 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출시스템.

[청구항 12]

제 11항에 있어서,
붕산의 농도가 1000, 3000, 5000 ppm중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출시스템.

[청구항 13]

결합 검출 대상영역의 재료 종류와 붕산의 농도에 따라 스펙트럼 검출구간 및 지연시간을 확정하는 제 1단계와;
LIBS에 확정된 스펙트럼 검출구간과 지연시간을 설정하는 제 2단계와;
분광 스펙트럼 데이터를 검출하는 제 3단계;
스펙트럼 데이터를 전송하는 제 4단계와;
검출 영역의 스펙트럼 데이터를 정상 스펙트럼 데이터와 비교하는 제 5단계와;
붕산 스펙트럼 구간의 피크치 검출시 경보를 발생하는 제 6단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출방법.

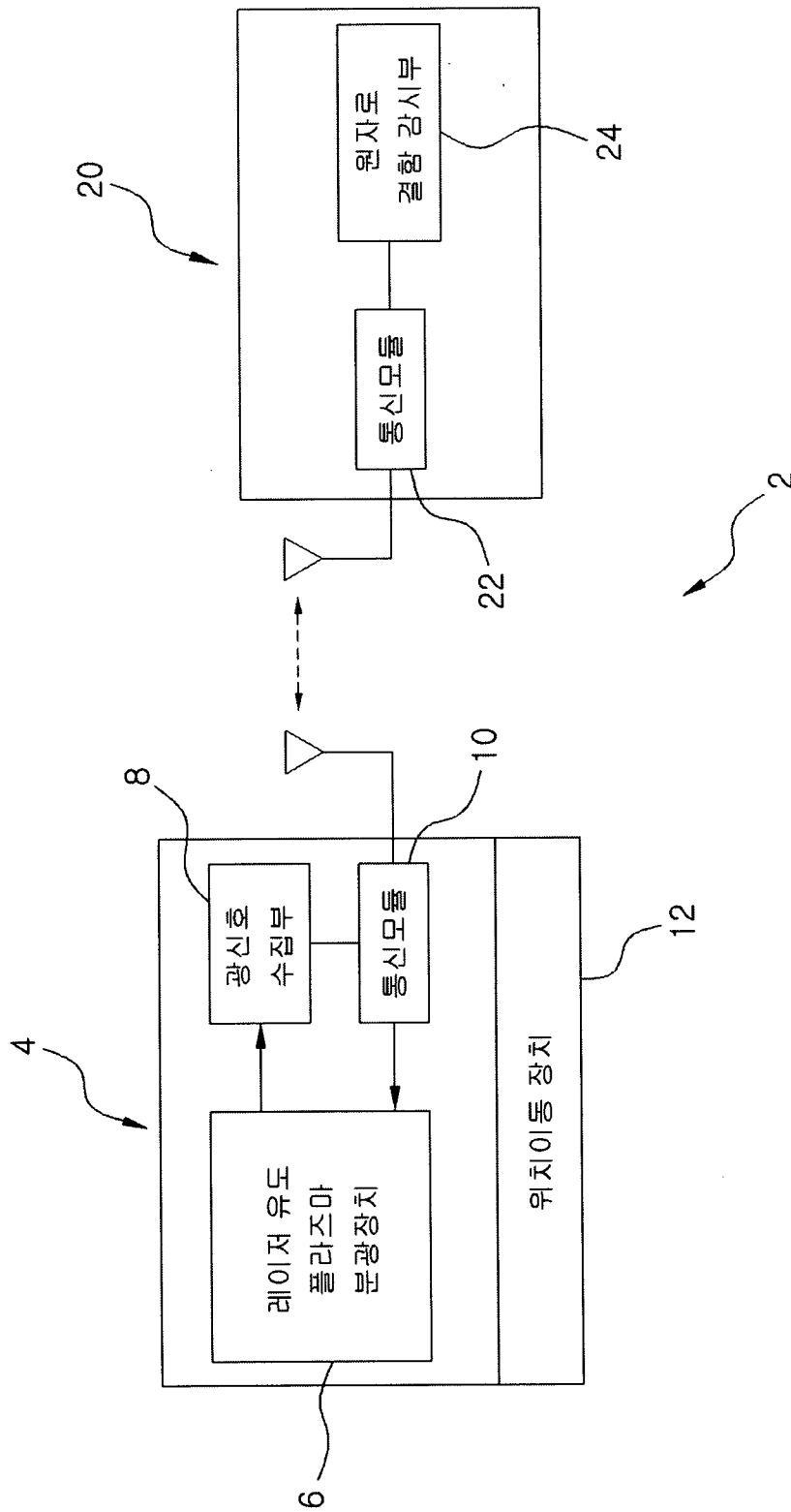
[청구항 14]

제 13항에 있어서,
상기 제 2 단계는 붕산의 농도가 ppm수준 이상이며, 검출대상영역의 재료가 SA533 또는 SA508인 경우, 상기 설정부에 설정된 지연시간은 10 μ s이며, 주사범위는 247nm 내지 250.5nm로 설정하는 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출방법.

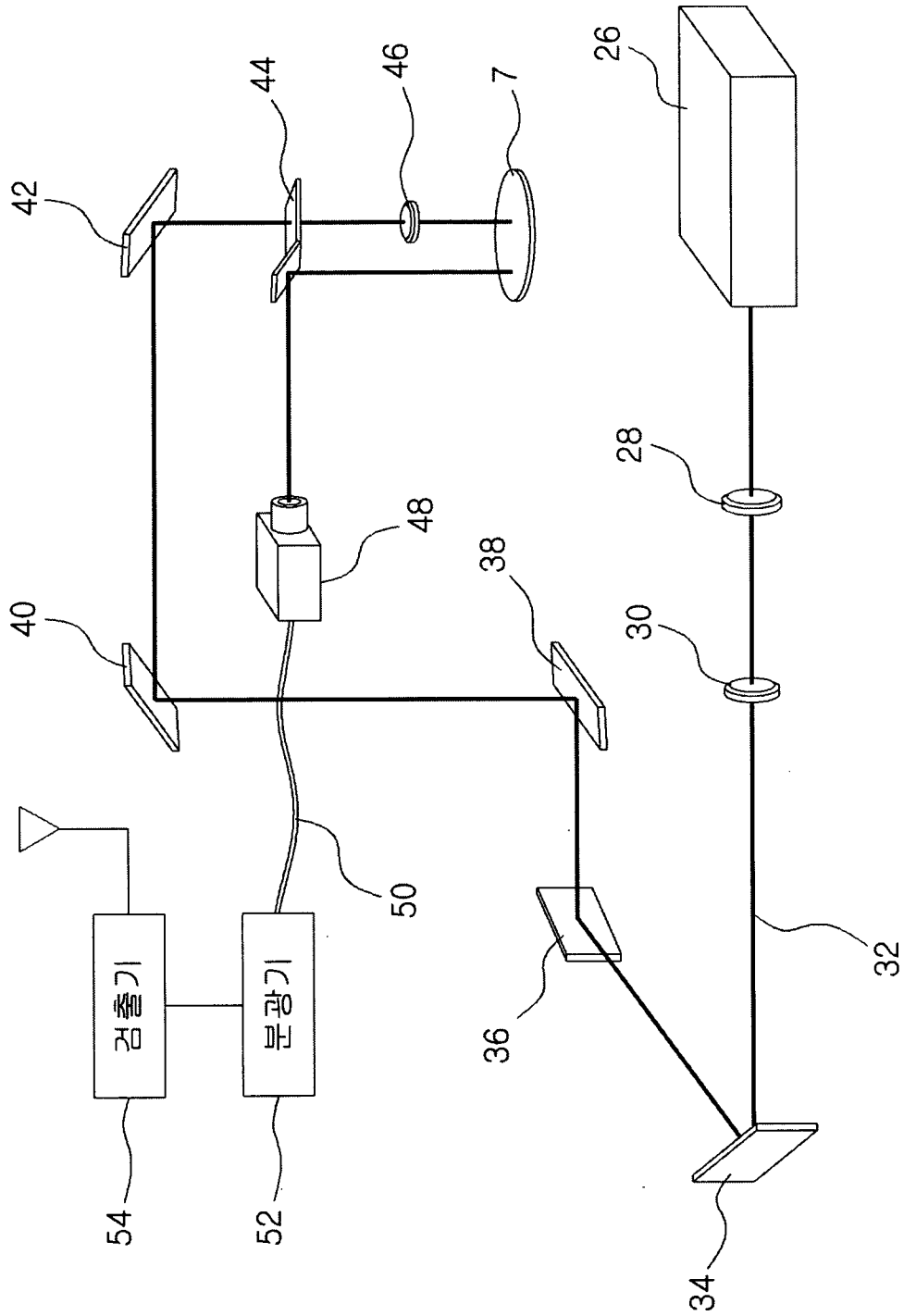
[청구항 15]

제 14항에 있어서,
붕산의 농도가 1000, 3000, 5000 ppm중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 원자로 결합 검출방법.

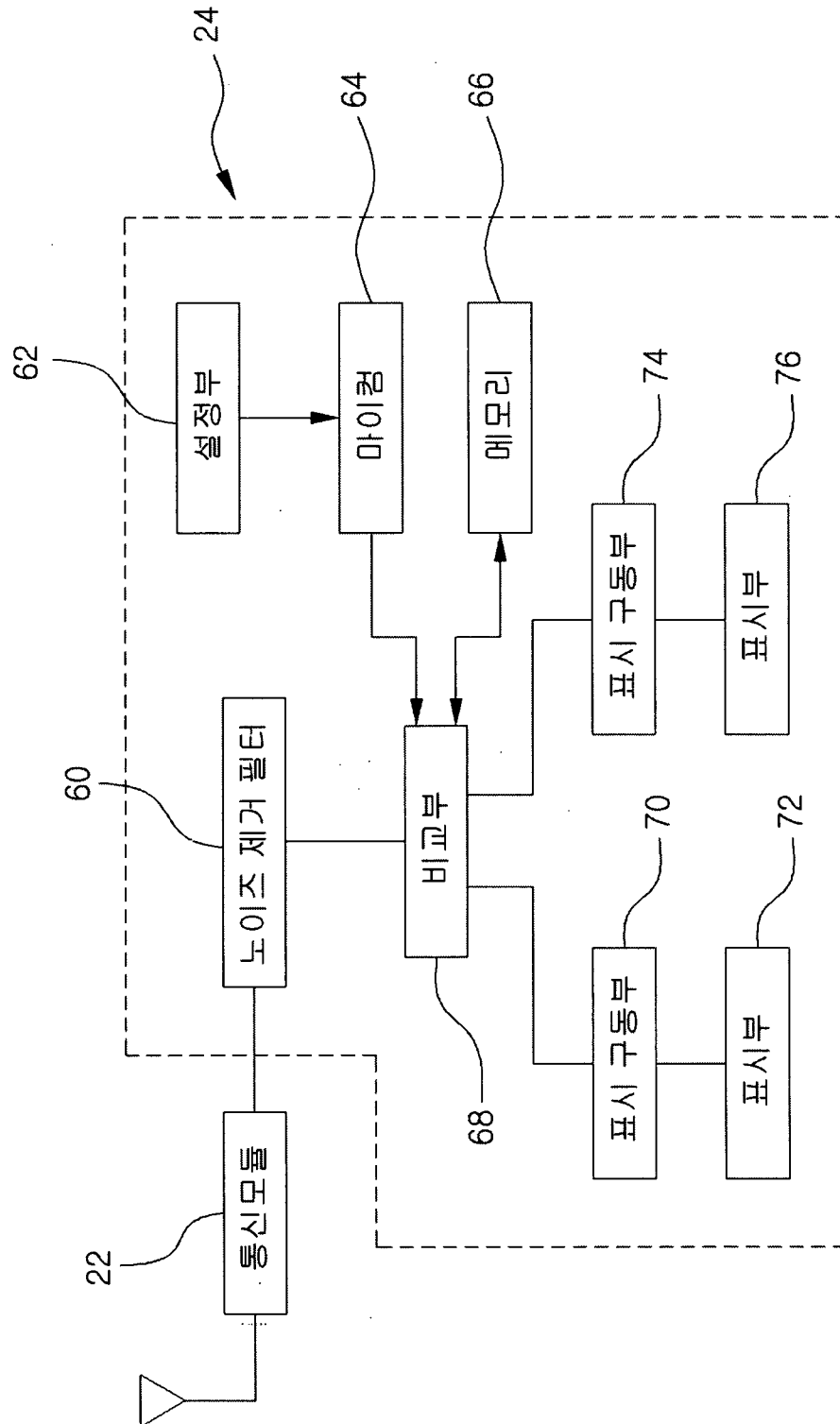
[Fig. 1]



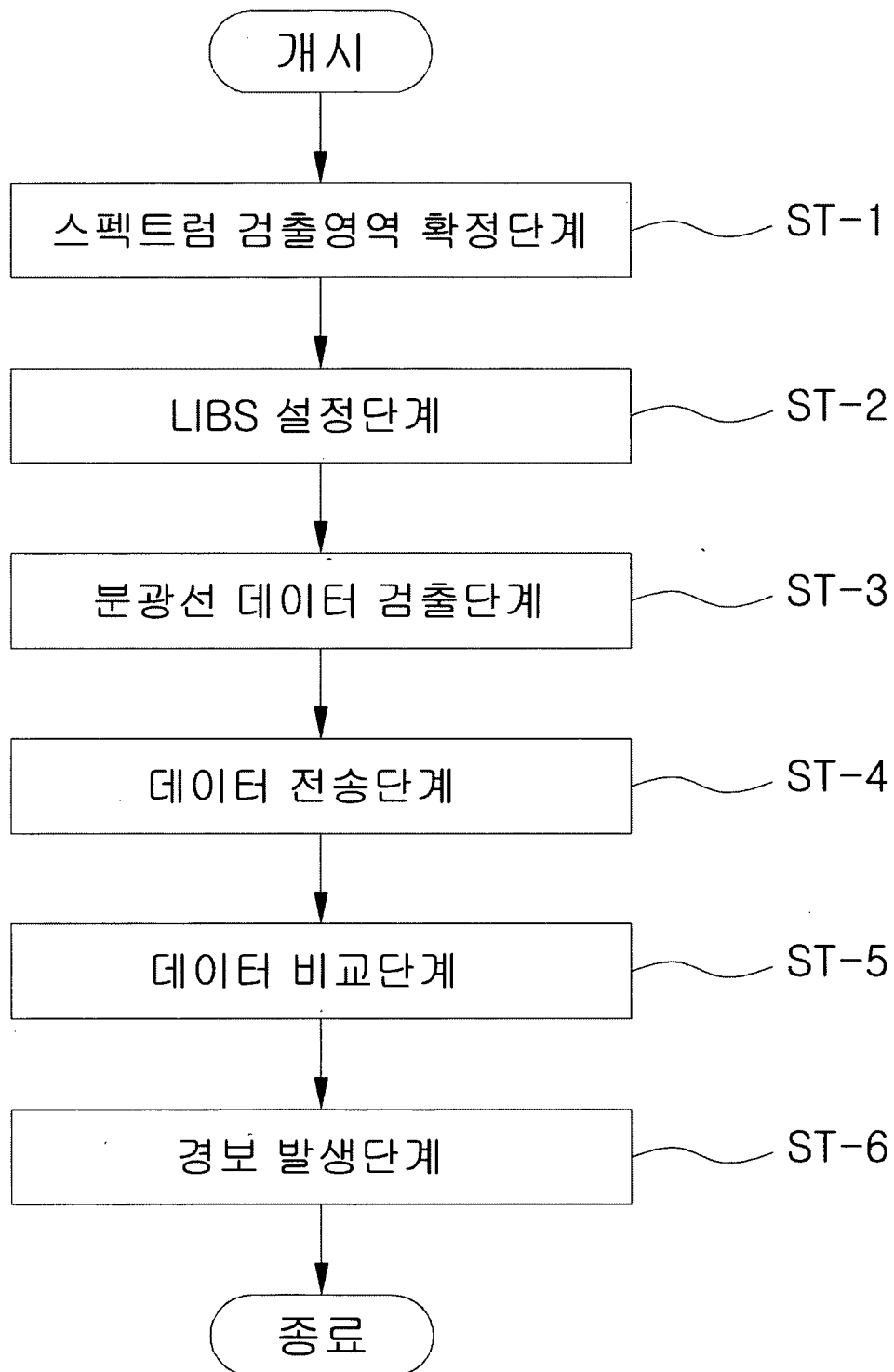
[Fig. 2]



[Fig. 3]

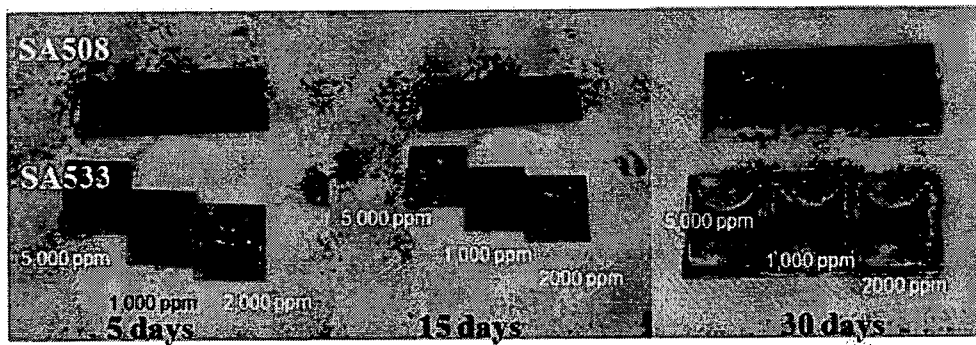
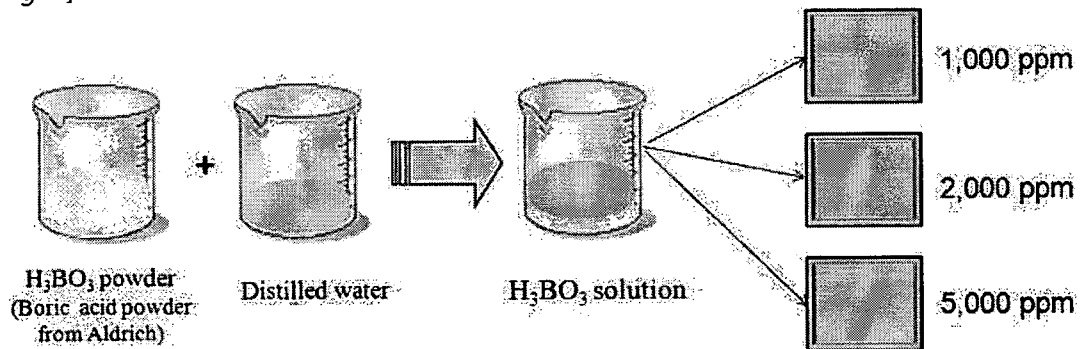


[Fig. 4]

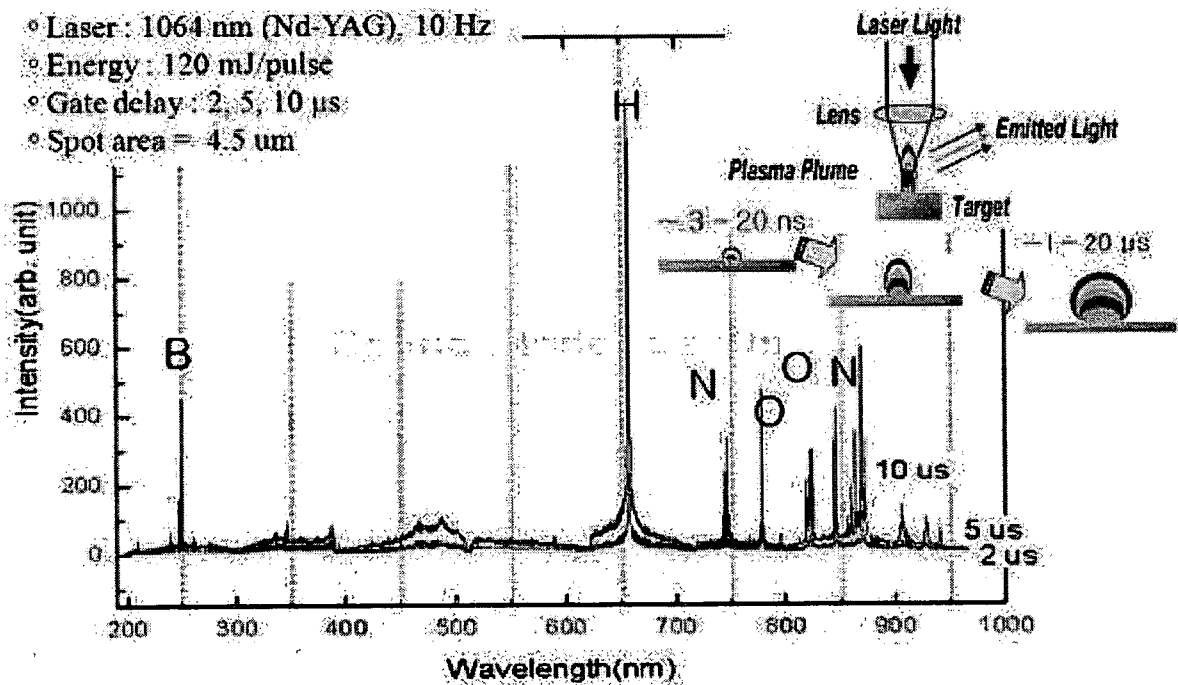


5/7

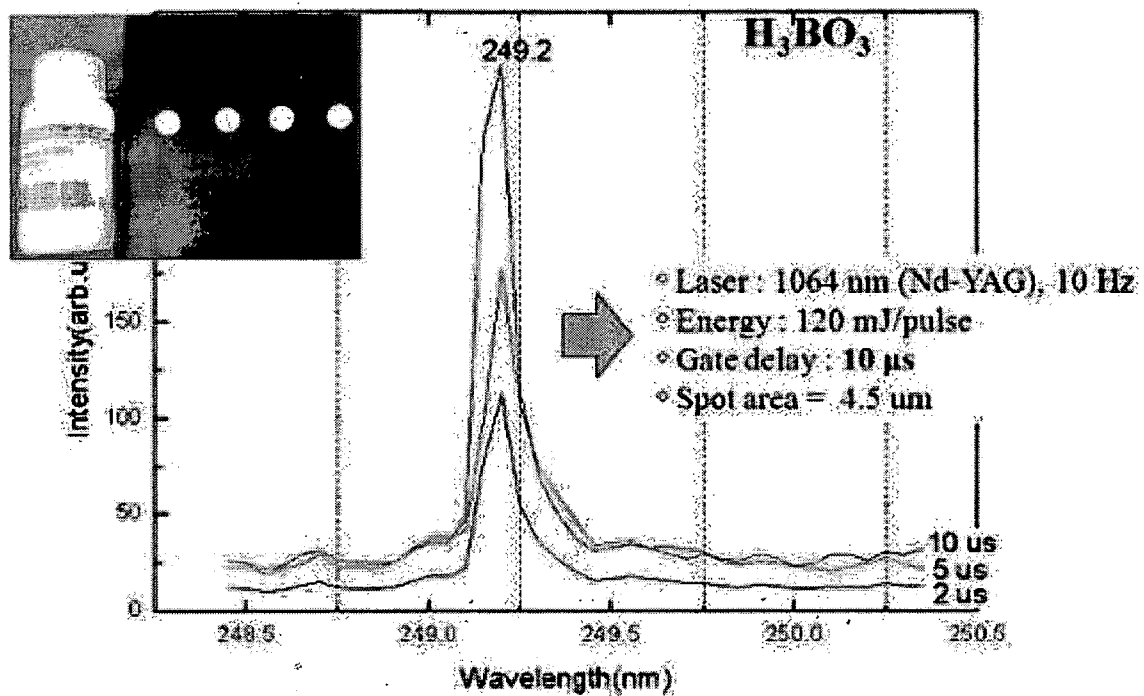
[Fig. 5]



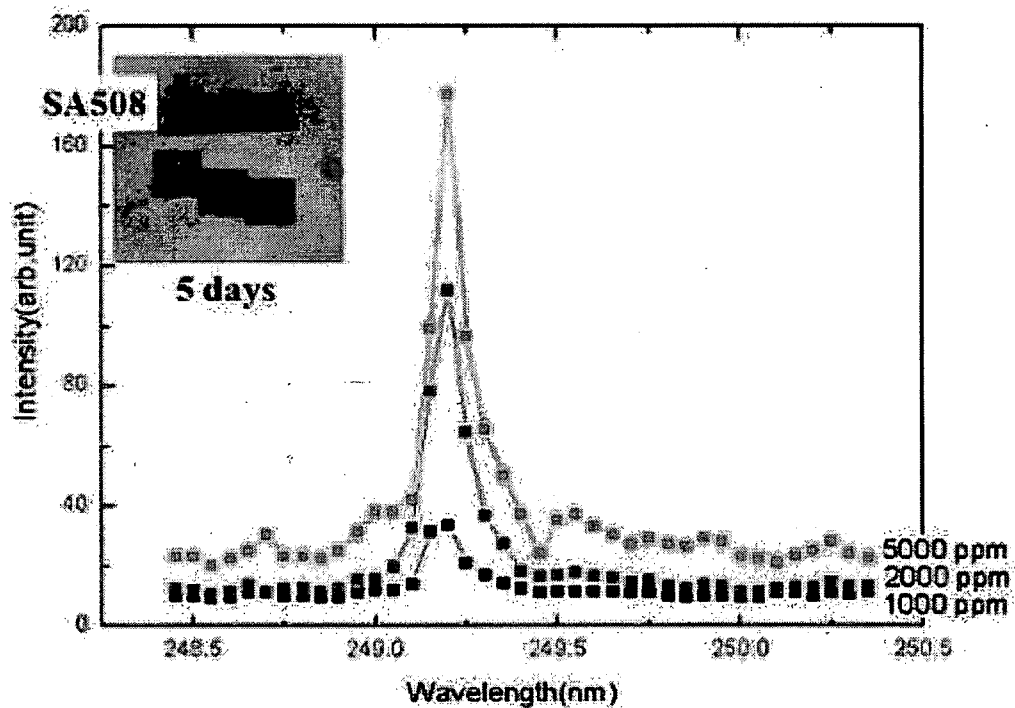
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]

