



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0077066  
(43) 공개일자 2025년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01D 67/00 (2006.01) B01D 69/12 (2006.01)  
B01D 71/02 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
B01D 67/00933 (2025.05)  
B01D 67/0083 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2023-0164451  
(22) 출원일자 2023년11월23일  
심사청구일자 2023년11월23일

(71) 출원인  
이화여자대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)  
(72) 발명자  
박찬혁  
서울특별시 은평구 진관4로 100 (진관동, 은평뉴타운상림마을) 613동 402호  
소 연  
경기도 안양시 동안구 관악대로263번길 60-8, (비산동, 2층)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 아이퍼스

전체 청구항 수 : 총 10 항

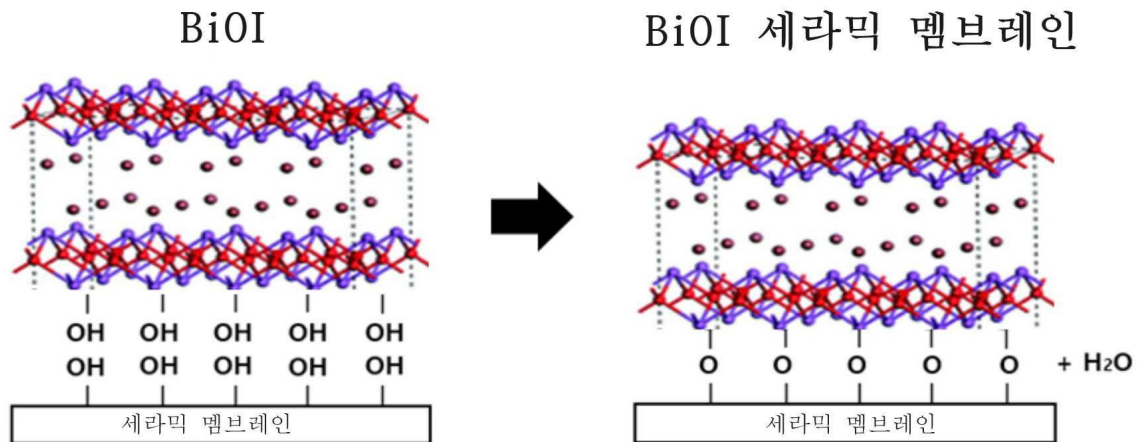
(54) 발명의 명칭 고안정성의 비스무트 세라믹 멤브레인 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 고안정성의 비스무트 세라믹 멤브레인 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로, 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI 막을 가지며, BiOI의 화학식이  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 인, 수처리용 세라믹 멤브레인, 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

본 발명은 음 전하를 띠는 BiOI를 기능화시키고 이를 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅함으로써, 불소 이온 및 용존성 실리카 이온 제거 성능을 향상시켜 음이온의 제거 효율을 극대화시킬 수 있는 효과가 있으며, 화학적 및 열적 안정성이 높은 BiOI 막을 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅함으로써, 극한 환경에서 유지될 수 있는 고안정성의 수처리용 멤브레인의 제조가 가능한 효과가 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

**B01D 67/0095** (2013.01)  
**B01D 69/1214** (2025.05)  
**B01D 71/024** (2025.05)  
**B01D 71/025** (2013.01)  
**C02F 2103/346** (2013.01)

**이지현**

대전광역시 서구 둔산로 15 , 116동 902호 (둔산동, 향촌아파트)

(72) 발명자

**김소연**

경기도 고양시 일산동구 강송로 33 , 105동 1106호  
 (백석동, 일산 요진 와이시티)

**이유진**

서울특별시 서대문구 수색로2길 39(남가좌동, DMC  
 금호리첸시아) 102동 2205호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711196565                             |
| 과제번호        | 00233235                               |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                              |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                                 |
| 연구사업명       | 차세대 유망 seed 기술실용화 패스트트랙사업              |
| 연구과제명       | 반도체 폐수처리를 위한 나노여과급 세라믹 분리막 기술고도화 및 실용화 |
| 기 여 율       | 1/1                                    |
| 과제수행기관명     | 이화여자대학교                                |
| 연구기간        | 2023.04.01 ~ 2023.12.31                |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI 막을 가지며,  
상기 BiOI의 화학식이  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 인, 수처리용 세라믹 멤브레인.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 BiOI와 상기 세라믹 멤브레인의 표면이 -O- 기에 의해 연결되어 있는 것을 특징으로 하는, 수처리용 세라믹 멤브레인.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 BiOI 막의 두께가 세라믹 멤브레인 2.5 cm(또는 mm) 기준으로 5 내지 20  $\mu\text{m}$  (또는 mm)인 것을 특징으로 하는, 수처리용 세라믹 멤브레인.

#### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 세라믹 멤브레인이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  또는  $\text{TiO}_2$  세라믹 멤브레인인 것을 특징으로 하는, 수처리용 세라믹 멤브레인.

#### 청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 수처리용 세라믹 멤브레인이 반도체 페수처리용 세라믹 멤브레인인 것을 특징으로 하는, 수처리용 세라믹 멤브레인.

#### 청구항 6

제1항 또는 제2항의 수처리용 세라믹 멤브레인을 제조하는 방법으로서,  
하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 제조하는 단계(단계 1);  
상기 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 소정 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시키는 단계(단계 2); 및  
단계 2에서 수득된 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인을 오븐에서 열처리 및 건조시켜 BiOI 막이 코팅된 수처리용 세라믹 멤브레인을 수득하는 단계(단계 3)를 포함하며,  
상기 BiOI의 화학식이  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 인, 방법.

#### 청구항 7

제6항에 있어서, 단계 1이  
Bi 염과 알칼리 요오다이드를 증류수 중에서 혼합 및 교반하고,  
수득된 용액의 pH를 약산으로 조절하여 하이드록실 기를 가진  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  용액을 제조하고,  
초음파 처리하고,  
침전물을 증류수로 세척하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 Bi 염이  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 이며, 상기 알칼리 요오다이드가 NaI이며,

수득된 용액의 pH가 약 6으로 조절되는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 9

제6항에 있어서, 상기 단계 2가 상기 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 코팅하고자 하는 양만큼 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 4 내지 6 bar의 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시키며,

상기 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 코팅하고자 하는 양은  $0.5 \text{ mg/cm}^2$  내지  $5.0 \text{ mg/cm}^2$ 의 범위에 있는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 10

제6항에 있어서, 상기 단계 3이 100 내지  $130^\circ\text{C}$ 의 온도에서 10 내지 15시간 동안 수행되는 것을 특징으로 하는, 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 수처리용 세라믹 멤브레인 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로, 반도체 폐수처리용 고안정성의 비스무트 세라믹 멤브레인 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 현대 산업이 점차 고도화되면서 난분해성 및 독성을 띠는 오염물질을 포함하는 산업 폐수의 처리가 중요한 문제로 대두되고 있으며, 일례로 반도체 폐수 처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 반도체 폐수의 난분해성 및 독성 등과 같은 특성을 고려하였을 때, 기존에 널리 적용되어 온 화학적 및 생물학적 공정에 비해 멤브레인에 의한 물리학적 처리가 더 바람직하며, 반도체 폐수와 같은 극한환경에 멤브레인을 적용하기 위해서는, 멤브레인의 안정성을 높여 수명을 연장시킴으로써 장기적 관점에서 경제성을 확보하는 것이 필수적이다.

[0004] 한편, 세라믹 멤브레인은 높은 화학적/열적/기계적 안정성과 낮은 운전 압력, 긴 수명, 세균 저항성 및 세정의 간편함 등으로 최근 고분자 멤브레인을 대체하고 있으며, 더 나아가 2차원의 나노물질을 세라믹 멤브레인 표면에 도입함으로써 제거 성능을 향상시킬 수 있다.

[0005] 이때, 2차원의 나노물질로는 최근 들어 그래핀으로부터 유도된 나노물질이 각광받고 있으나, 이들은 고분자 물질로서 수중 및 극한환경에서 불안정성을 보이는 것이 보고된 바 있다.(Yeh et al, 2015)

[0007] 한편, 비스무트(Bi)는 높은 화학적 및 열적 안정성을 보이므로(Goutam Brahmachari et al. 2012), 이를 이용하여 세라믹 멤브레인의 표면에 개질하면 극한 환경에서의 안정성을 유지하면서 멤브레인의 여과 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

[0008] 구체적으로, 문헌[Fen-Qiang Ma, Jing-Wen Yao, Yan-Feng Zhang and Yu Wei; RSC Adv., 2017, 7, 36288-36296]에는 옥시요오드화 비스무트(Bismuth oxyiodide( $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ ); 하기에서 "BiOI"로 지칭되고, 도 1 참조)가 기재되어 있다.

[0009] 그러나, 비스무트를 멤브레인 표면에 부착시키기 위해 하이드록실 기를 가진 BiOI를 제조하는 과정이 필요하다.

[0011] 한편, 이와 관련한 선행 기술을 살펴보면 하기와 같다:

[0012] 대한민국 특허공개 제2022-0052398호는 PVDF 복합 분리막 제조방법 및 이를 이용하여 제조된 PVDF 복합 분리막에 관한 것으로서, 보다 구체적으로, 카르복시기 또는 히드록시기를 포함하는 산화 그래핀 또는 환원 그래핀과 탄소나노튜브로 이루어진 군에서 선택되는 1 이상의 탄소구조체, 및 산화티타늄, PVDF(Polyvinylidene fluoride)를 포함하는 고분자를 포함하는 복합 분리막에 관한 것이다.

[0013] 대한민국 특허공개 제2022-0088085호는 EDC chemistry를 활용한 공유결합 기반의 다층박막적층법에 의한 세라믹

GO/PEI 나노멤브레인 그 제조방법에 관한 것으로서, 세라믹 나노 멤브레인에 EDC의 존재 하에서  $-COOH$ 와  $-NH_2$ 가 공유결합을 이루어  $-CONH$ 를 형성하여 GO/PEI를 교차 적층하여 이온 제거능을 갖으면서, 기계적 안정성이 높은 세라믹 그래핀 옥사이드 나노여과 멤브레인 그 제조방법에 관한 것이다.

[0014] 이러한 문헌들에는 본 발명의 BiOI로 세라믹 멤브레인의 표면을 개질하여 제작한 BiOI 세라믹 멤브레인에 대해 고시되거나 암시되어 있지 않다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0015] 따라서, 본 발명은 반도체 폐수와 같은 극한 환경에서 안정성을 유지하는 동시에 일정 수준 이상의 투수성과 오염물질 제거 성능을 보유하는 세라믹 멤브레인 및 이의 제조방법을 제공하기 위한 것이다.

[0016] 다만, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0017] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 양태는 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI 막을 가지며, BiOI의 화학식이  $Bi_7O_9I_3$ 인, 수처리용 세라믹 멤브레인을 제공한다.

[0018] 또한, 본 발명의 다른 양태는 본 발명의 수처리용 세라믹 멤브레인을 제조하는 방법으로서,

[0019] 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 제조하는 단계(단계 1);

[0020] 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 소정 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시키는 단계(단계 2); 및

[0021] 단계 2에서 수득된 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인을 오븐에서 열처리 및 건조시켜 BiOI가 코팅된 수처리용 세라믹 멤브레인을 수득하는 단계(단계 3)를 포함하며, 여기서 BiOI의 화학식이  $Bi_7O_9I_3$ 인, 방법을 제공한다.

### 발명의 효과

[0022] 본 발명은 음 전하를 띠는 BiOI를 기능화시키고 이를 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅함으로써, 불소 이온 및 용존성 실리카 이온 제거 성능을 향상시켜 음이온의 제거 효율을 극대화시킬 수 있는 효과가 있다.

[0023] 또한, 본 발명은 화학적 및 열적 안정성이 높은 BiOI 막을 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅함으로써, 극한 환경에서 유지될 수 있는 고안정성의 수처리용 멤브레인의 제조가 가능한 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 BiOI의 결정 구조( $Bi_7O_9I_3$ )의 도식적 예시이다.

도 2는 하이드록실 기를 갖는 BiOI 및 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인의 도식적 예시이고(좌측), 축합 반응을 통해 수득된  $-O-$  기에 의해 BiOI가 연결된 세라믹 멤브레인의 도식적 예시이다(우측).

도 3은  $Bi_7O_9I_3$  코팅량에 따른 세라믹 멤브레인의 플럭스 변화를 도시한 그래프이다.

도 4는 본 발명의 세라믹 멤브레인에 의한 불소 이온/용존성 실리카 제거율을 도시한 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

- [0027] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0028] 본 발명의 일 양태는 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI 막을 갖는 수처리용 세라믹 멤브레인을 제공한다.
- [0029] 이러한 수처리용 세라믹 멤브레인은 BiOI와 세라믹 멤브레인의 표면이 -O- 기에 의해 연결되어 있음을 특징으로 한다(도 2 우측 도면 참조). 이에 따라, 세라믹 멤브레인에 BiOI 막이 화학적, 열적 및 기계적으로 안정적으로 연결되어, BiOI 막의 내구성을 보장하고, 이의 사용 수명을 충분히 길게 보장할 수 있게 한다.
- [0031] BiOI는 옥시요오드화 비스무트(bismuth oxyiodide)로서(도 1 참조), 이의 화학식은  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 이며, 이는 그 자체로 높은 화학적 및 열적 안정성을 나타낸다. \*\*\*본 발명에서 BiOI 막의 두께는 세라믹 멤브레인 0.25 cm(또는 25 mm) 기준으로 5 내지 20  $\mu\text{m}$ , 바람직하게는 7 내지 15  $\mu\text{m}$ , 및 더욱 바람직하게는 약 10  $\mu\text{m}$  이내이다. 상기 범위를 초과하는 경우에, 막 두께가 너무 두꺼워서 플럭스(flux)를 과도하게 떨어뜨려 여과 효율을 불량하게 만드는 반면, 상기 범위 미만의 경우, BiOI 막의 코팅 효과가 나타나지 않아서 화학적 및 열적 안정성이 떨어지는 문제를 나타낼 수 있다.
- [0033] 본 발명에서 세라믹 멤브레인은 수처리용 필터, 구체적으로 반도체 폐수처리용 필터로서 통상적으로 사용될 수 있는 모든 세라믹 멤브레인을 사용할 수 있고, 본 발명에서는 본 발명의 세라믹 멤브레인이 수처리용 필터로서 사용할 수 있는 한 투수성 및 두께와 같은 물리적 특성을 한정하지 않으며, 본 발명에서는 일 예로서  $\text{Al}_2\text{O}_3$  또는  $\text{TiO}_2$  세라믹 멤브레인이 바람직하다.
- [0035] 본 발명의 BiOI 막이 코팅된 세라믹 멤브레인은 도 3에서 알 수 있는 바와 같이, 450 내지 600  $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$ 의 플럭스를 갖는 것이 바람직하고, 도 4에서 알 수 있는 바와 같이 불소 이온 및 용존성 실리카 제거 성능을 향상시킬 수 있고, BiOI 막 자체가 화학적 및 열적 안정성이 우수하고 BiOI 막과 세라믹 멤브레인의 표면이 -O-로 연결되어 있는 바 반도체 폐수처리와 같은 극한 환경에서 유지될 수 있는 고안정성의 수처리용 멤브레인으로 사용 가능하다.
- [0037] 또한, 본 발명의 다른 양태는 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI 막을 갖는 수처리용 세라믹 멤브레인을 제조하는 방법을 제공한다.
- [0038] 더욱 구체적으로, 본 발명은
- [0039] 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 제조하는 단계(단계 1);
- [0040] 상기 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 소정 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시키는 단계(단계 2); 및
- [0041] 단계 2에서 수득된 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인을 오븐에서 열처리 및 건조시켜 BiOI가 코팅된 수처리용 세라믹 멤브레인을 수득하는 단계(단계 3)를 포함하며, 여기서, 상기 BiOI의 화학식이  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 인, 방법을 제공한다.
- [0043] 단계 1은 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 제조한다. 더욱 구체적으로 단계 1은 하기와 같은 하위 단계로 수행될 수 있다:
- [0044] - Bi 염, 바람직하게는  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 과 알칼리 요오다이드, 바람직하게는 NaI를 증류수 중에서 혼합 및 교반하는 단계,
- [0045] - 수득된 용액의 pH를 약산, 약 6으로 조절하여 하이드록실 기를 가진  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  용액을 제조하는 단계,

- [0046] - 입자 크기를 줄이기 위해 초음파 처리하는 단계, 및
- [0047] - 침전물을 증류수로 세척하는 단계.
- [0048] 상기 혼합 및 교반하는 단계는 동일한 몰(mole)의 Bi 염 및 알칼리 요오다이드를 혼합하고 약 24시간 내지 40시간 동안 교반하여 수행한다.
- [0049] 또한, pH의 조절은 적절한 산을 사용함으로써 수행되며, 산의 구체적인 종류에 대해서는 본 발명에서 한정하지 않는다.
- [0050] 초음파 처리 단계는 용액 중의 입자 크기를 줄이기 위한 것으로서, 2 내지 6시간 동안 수행한다.
- [0051] 세척하는 단계는 1회 이상 수행할 수 있고, 바람직하게는 2 내지 5회 수행한다.
- [0053] 단계 2는 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 소정 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시킨다. 더욱 구체적으로, 단계 2는 하이드록실 기를 갖는 BiOI 용액을 코팅하고자 하는 양만큼 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인에 4 내지 6 bar, 바람직하게는 5 bar의 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 축합 반응시킨다.
- [0054] 도 2는 하이드록실 기를 갖는 BiOI 및 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인의 도식적 예시이고(좌측), 축합 반응을 통해 -O- 기에 의해 BiOI가 연결된 세라믹 멤브레인의 도식적 예시이다(우측). 도 2에서 알 수 있는 바와 같이, 압력 하에서 가압 여과를 진행하여 BiOI의 하이드록실 기와 세라믹 멤브레인의 하이드록실 기가 결합하여 -O-를 형성하면서, 부산물로서 H<sub>2</sub>O를 형성한다.
- [0055] BiOI 용액의 코팅하고자 하는 양은 최종적으로 얻어진 바람직한 BiOI 막의 두께(건조 두께)를 얻고 사용하기에 적절한 플럭스를 얻도록 적절하게 조절할 수 있다. 본 발명에서는 BiOI 용액의 코팅하고자 하는 양을 0.5 mg/cm<sup>2</sup> 내지 5.0 mg/cm<sup>2</sup>의 범위 내에서 조절할 수 있다. 상기 범위를 초과하는 경우에, 막 두께가 너무 두꺼워서 플럭스가 과도하게 떨어져서 세라믹 멤브레인의 여과 효율을 떨어뜨리는 반면 상기 범위 미만의 경우, BiOI 막의 코팅 효과가 나타나지 않아서 화학적 및 열적 안정성이 떨어지는 문제를 나타낼 수 있다(도 3 참조).
- [0057] 단계 3은 단계 2에서 수득된 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인을 오븐에서 열처리 및 건조시켜 BiOI가 코팅된 수처리용 세라믹 멤브레인을 수득한다. 더욱 구체적으로, 단계 3은 수득된 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인을 오븐에서 100 내지 130℃, 바람직하게는 120℃의 온도에서 10 내지 15시간, 바람직하게는 12시간 동안 열처리 및 건조시켜 BiOI가 코팅된 수처리용 세라믹 멤브레인을 수득한다.
- [0058] 이러한 단계에서는 축합 반응 후 생성된 H<sub>2</sub>O를 건조시켜 BiOI와 세라믹 멤브레인 간의 결합을 형성한다.
- [0059] 이렇게 수득된 BiOI 막의 두께(건조 두께)는 세라믹 멤브레인 0.25 cm(또는 25 mm) 기준으로 5 내지 20 μm, 바람직하게는 7 내지 15 μm, 및 더욱 바람직하게는 약 10 μm 이내이다. 상기 범위를 초과하는 경우에, 막 두께가 너무 두꺼워서 플럭스가 과도하게 떨어지는 반면 상기 범위 미만의 경우, BiOI 막의 코팅 효과가 나타나지 않아서 화학적 및 열적 안정성이 떨어지는 문제를 나타낼 수 있다.
- [0062] 이러한 방법으로 제조된 본 발명의 세라믹 멤브레인은 본 발명의 세라믹 멤브레인의 표면에 코팅된 BiOI는 음의 전하를 띠는 것으로서, 음이온의 제거효율을 극대화하여, 불소 이온 및 용존성 실리카 이온 제거 성능을 향상시킬 수 있고, 또한, BiOI 자체가 화학적 및 열적 안정성이 우수한 바, 극한 환경에서 유지될 수 있는 고 안정성의 수처리용 세라믹 멤브레인을 제공할 수 있다. 더욱 구체적으로, 본 발명의 수처리용 세라믹 멤브레인은 반도체 패수처리용 세라믹 멤브레인으로 사용할 수 있다.
- [0064] 이하, 실시예를 통해 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.
- [0065] <실시예 1> 본 발명의 BiOI 막이 코팅된 세라믹 멤브레인의 제조

[0066] **단계 1:** 하이드록실 기를 가진 BiOI 용액을 제조하는 단계

[0067]  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  1 mmol과 NaI 1 mmol을 1 L의 증류수에 혼합하고, 36시간 동안 교반하였다. 교반이 완료된 용액을 pH 6으로 조절하여 하이드록실 기를 가진  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  용액을 제조하였다( $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 의 구조: 도 1 참조). 입자 크기를 줄이기 위해 제조된 하이드록실 기를 가진  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  용액을 4시간 동안 초음파처리하였다. 수득된 침전물을 증류수로 3회 세척하였다.

[0069] **단계 2:** 하이드록실 기를 갖는 BiOI와 하이드록실 기를 갖는 세라믹 멤브레인을 축합 반응시키는 단계

[0070] 상기 단계 1에서 제조된 하이드록실 기를 가진  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  용액을 0.5 내지 5.0  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 의 양으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$  세라믹 멤브레인(두께 2.5 mm)에 5 bar의 압력으로 가압 여과를 수행하였다.

[0072] **단계 3:** 열처리 및 건조시키는 단계

[0073] 상기 단계 2에서 수득된  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 이 코팅된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  세라믹을 120℃ 오븐에서 12시간 동안 건조시켜 BiOI 세라믹 멤브레인을 제조하였다.

[0075] **<실험예 1>  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  코팅량에 따른 세라믹 멤브레인의 플럭스 변화**

[0076] 증류수를  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 이 코팅된 세라믹 멤브레인으로 3 bar의 압력에서 여과하였다. 멤브레인을 통과한 물이 떨어지는 양을 저울을 이용하여 계산하였고, 30초 간격으로 무게를 측정하여 단위 면적, 시간, 압력 당 여과되는 물의 양을  $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$  단위로 계산하였다. 약 40분 동안 장치를 작동시켜 안정화시킨 후 플럭스의 값이 일정해져 그 래프의 모양이 일직선이 되었을 때의 값으로 정하였다.

[0078] 결과는 도 3에 도시되어 있다. 도 3에서 알 수 있는 바와 같이, 세라믹 멤브레인 자체의 플럭스는 약  $630 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$ 이었고,  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$  코팅량이 0.5  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 에서 5.0  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 증가함에 따라 세라믹 멤브레인의 플럭스는 점점 감소하여  $450 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$  미만으로 감소하였다.

[0080] **<실험예 2> BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인의 불소/용존성 실리카 제거율**

[0081] 실제 반도체 폐수 속에 있는 이온성 오염 물질의 농도를 기준으로 하여 불소/용존성 실리카를 포함한 반도체 폐수 모사 용액을 제조하였다. 불소 용액은 NaF를 증류수에 용해시켜 100 mg/L로, 용존성 실리카 용액은  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 을 증류수에 용해시켜 100 mg/L로 제조하였다. 제조한 불소/용존성 실리카 용액을  $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ 이 코팅된 세라믹 멤브레인으로 3 bar의 압력에서 여과하였다. 약 40분 동안 플럭스 안정화 과정을 거친 후 나오는 투과액에 있는 불소의 농도는 이온 크로마토그래피(IC)로, 용존성 실리카의 농도는 흡광도를 측정하여 용존성 실리카의 농도로 환산하는 몰리브도실리케이트 방법(molybdosilicate method)을 이용하여 측정하였다. 이를 통해 공급물과 투과액의 농도를 측정하여 하기 수학식 1을 통해 불소/용존성 실리카의 제거율을 계산하였다.

**수학식 1**

$$R(\%) = \left( \frac{c_{\text{공급물}} - c_{\text{투과액}}}{c_{\text{공급물}}} \right) \times 100$$

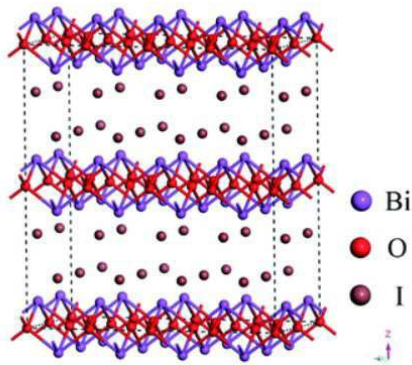
[0082]

[0084] 결과는 도 4에 도시되어 있다. 도 4의 좌측 그래프는 불소 이온 제거율에 대한 그래프이며, 도 4의 우측 그래프는 용존성 실리카 제거율에 대한 그래프이다.

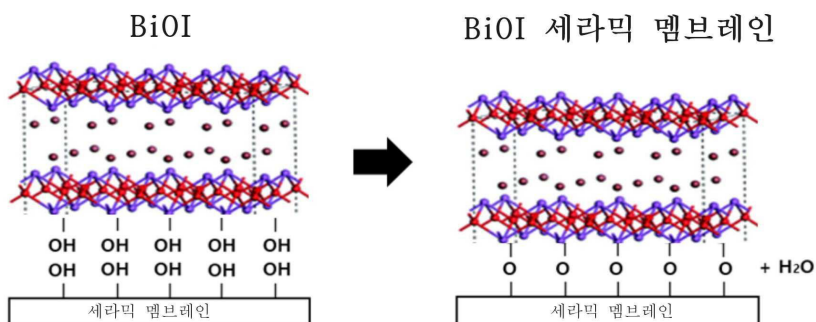
[0085] 도 4의 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 BiOI가 코팅된 세라믹 멤브레인은 반도체 폐수에서 불소 이온을 약 25% 제거하였고, 용존성 실리카를 약 17 내지 19% 제거하였다. 코팅 전의 세라믹 멤브레인의 불소/용존성 실리카 제거율이 0 내지 2%를 보이는 것에 비하여 높은 제거율을 보인다.

## 도면

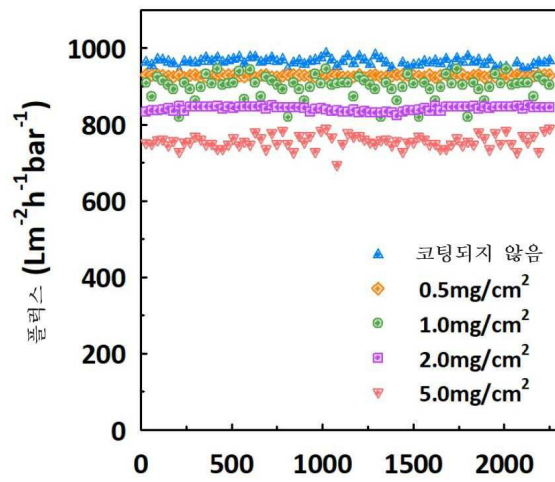
### 도면1



### 도면2



도면3



도면4

