

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0074907

(43) 공개일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 10/0562 (2010.01) H01B 1/12 (2006.01)

H01B 13/00 (2006.01) H01M 10/054 (2010.01)

H01M 4/62 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01M 10/0562 (2013.01)

H01B 1/122 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0161831

(22) 출원일자 2023년11월21일

심사청구일자 2023년11월21일

(71) 출원인

국립순천대학교산학협력단

전라남도 순천시 중앙로 255(매곡동)

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

손기선

서울특별시 성동구 행당로 82 한진해모로 113동 1801호

표명호

전라남도 순천시 삼산로 135-5 삼성아파트 9동 1302호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인아이엠

전체 청구항 수 : 총 9 항

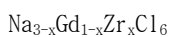
(54) 발명의 명칭 나트륨 이온 전지용 이온 전도체, 이를 포함하는 이차 전지, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법

(57) 요약

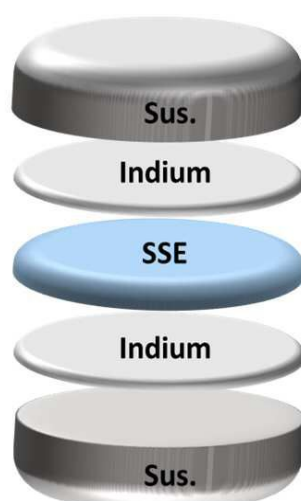
본 발명은 높은 이온 전도도를 가져 전고체 나트륨 이온 전지용에 사용될 수 있는 고체 이온 전도체에 관한 것이다.

본 발명에 따른 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는 하기 화학식 1로 표시되는 조성을 가진다.

[화학식 1]

(여기서, $x = 0.1 \sim 0.9$)

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H01B 13/0016 (2013.01)

H01M 10/054 (2013.01)

H01M 4/62 (2013.01)

H01M 2300/0068 (2013.01)

Y02E 60/10 (2020.08)

(72) 발명자

박운배

전라남도 순천시 삼산초등길 19, 202동 1201호(매곡동, 신매곡서한이다음)

이케 아몰 바이루바

전라남도 순천시 북정3길 25 303호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415184637
과제번호	20012196
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술기획평가원
연구사업명	산업기술알키미스트프로젝트사업
연구과제명	AI 기반 초임계 소재
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

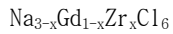
명세서

청구범위

청구항 1

하기 화학식 1로 표시되는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체.

[화학식 1]



(여기서, $x = 0.1 \sim 0.9$)

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 x 는 $0.3 \sim 0.8$ 인, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 x 는 $0.4 \sim 0.6$ 인, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는 주상(main phase)이 공간군 $P2_1/n$ 의 결정구조를 가지는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체.

청구항 5

양극,

상기 양극과 소정 간격을 두고 대향하여 배치되는 음극 및

상기 양극과 음극 사이에 배치된 전해질을 포함하고,

상기 양극, 음극 또는 전해질 중 적어도 하나는 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 고체 이온 전도체를 포함하는 이차 전지.

청구항 6

(a) 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 구성하는 물질의 전구체를 준비하는 단계;

(b) 상기 전구체를 분쇄하는 단계;

(c) 분쇄된 전구체를 $470^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 의 온도에서 $6 \sim 48$ 시간 동안 가열하여 합성하는 단계; 및

(d) 합성된 물질을 퀀칭(quenching)하는 단계;를 포함하는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 전구체는 Na 염화물, Gd 염화물, Zr 염화물인, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 퀀칭(quenching)은 가스 퀀칭(gas quenching)하는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 (d) 단계로 합성된 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는 주상의 공간군 $P2_1/n$ 의 결정구조를 가지는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 높은 이온 전도도를 가져 전고체 나트륨 이온 전지용에 사용될 수 있는 나트륨 이온 전지용 이온 전도체와 이를 포함하는 이차 전지 및 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 전고체 전지는 기존 리튬 이온 전지 기술의 한계를 뛰어넘어 높은 에너지 밀도와 안전한 저장 시스템에 대한 수요 증가를 충족할 수 있는 유망한 솔루션으로 주목받고 있다.

[0004] 현재까지 개발된 전고체 전지용 이온 전도체 중에는 액체 전해질에 가까운 전도 성능을 나타내는 것도 있으나, 계면 분해 반응과 관련된 문제는 아직 해결되지 않은 상태로 남아 있다. 또한, 리튬 이온 전지 기술의 또 다른 문제점은 리튬 금속의 부족으로 인한 대체재의 필요성이다.

[0005] 나트륨은 지구 상에 풍부한 물질이므로, 나트륨 함유 고체 전해질이 리튬 기반 전해질 수준의 성능으로 구현될 수 있다면, 비용적으로 효율적인 리튬의 대체재가 될 수 있다. 또한, 전고체 나트륨 이온 전지는 향상된 안전성을 제공할 뿐만 아니라 더 높은 전압의 음극, 금속 양극 및 적층 아키텍처를 사용하여 더 높은 에너지 밀도를 제공할 수 있다.

[0006] 최근 개발되고 있는 할라이드계 나트륨 이온 전지용 고체 전해질은 황화물계 고체 전해질에 비해 높은 전기화학적 안정성과 함께, 특히 고전압 양극 소재와의 양호한 안정성을 갖는 것으로 알려져 있다.

[0007] 할라이드계 나트륨 이온 전지용 고체 전해질 중에서 $\text{Na}_{2.4}\text{Er}_{0.4}\text{Zr}_{0.6}\text{C}_{16}$ 및 $\text{Na}_{2.25}\text{Y}_{0.25}\text{Zr}_{0.75}\text{C}_{16}$ 는 현재까지 할로젠화 나트륨 전해질 중에서 가장 높은 이온 전도도(0.04 mS/cm)를 나타내지만, 상업적 관점에서 필수적인 것으로 간주되는 이온 전도도(약 1 mS/cm)는 달성하지 못하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2021-0150718호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 높은 전기화학적 안정성과 함께, 고전압 양극 소재와의 양호한 안정성을 갖는 할라이드계 물질로, 상업적으로 적용 가능한 수준의 이온 전도도를 갖는 나트륨 이온 전지용 이온 전도체와 이를 포함하는 이차 전지를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 측면은, 하기 화학식 1로 표시되는, 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 제공하는 것이다.

[0013] [화학식 1]

[0014] $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$

[0015] (여기서, $x = 0.1 \sim 1.0$)

[0016] 본 발명의 다른 측면은, 양극, 상기 양극과 소정 간격을 두고 대향하여 배치되는 음극 및 상기 양극과 음극 사이에 배치된 전해질을 포함하고, 상기 양극, 음극 또는 전해질 중 적어도 하나는 상기 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 포함하는 이차 전지를 제공하는 것이다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는, 높은 전기화학적 안정성과 고전압 양극 소재와의 양호한 안정성을 갖는 할라이드계 물질이면서, 상업적으로 적용 가능한 높은 이온 전도성을 나타낸다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 480℃에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 XRD 패턴이다.

도 2는 460℃에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 XRD 패턴이다.

도 3은 나이퀴스트 플롯 측정용 EIS 셀의 구조에 대한 개략도이다.

도 4는 480℃에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 나이퀴스트 플롯이다.

도 5는 460℃에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 나이퀴스트 플롯이다.

도 6은 $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 펠렛의 나이퀴스트 플롯이다.

도 7은 $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 의 리트벨트 분석 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 서명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 기초로 본 발명을 상세히 설명하기로 한다. 본 명

세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 바람직한 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있으며 본 발명의 범위가 다음에 기술하는 실시예에 한정되는 것은 아니다.

- [0024] [제 1 실시형태]
- [0025] 본 발명의 제 1 실시형태는 하기 화학식 1로 표시되는 나트륨 이온 전지용 이온 전도체이다.
- [0026] [화학식 1]
- [0027] $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$
- [0028] (여기서, $x = 0.1 \sim 0.9$)
- [0029] 상기 x 는 0.1 ~ 0.9의 범위 Zr을 포함하는 것이 이온 전도성의 측면에서 바람직하다. 더 바람직하게 x 는 0.3 ~ 0.8일 수 있고, 가장 바람직하게 x 는 0.4 ~ 0.6 일 수 있다.
- [0030] 본 발명에 따른 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는 주상(main phase)이 공간군 $P2_1/n$ 의 결정구조를 가지는 것일 수 있다. 상기 조성에 공간군 $P2_1/n$ 의 결정 구조를 가져야 양호한 이온 전도성을 얻을 수 있으므로 바람직하다.
- [0031] 본 발명에 있어서, 주상(main phase)라 함은 주로 포함되는 상으로 주상 외의 다른 상을 포함할 수 있는 것을 의미하며, 부피 비율로 70% 이상, 80% 이상, 바람직하게 90% 이상, 보다 바람직하게는 95% 이상일 수 있다.
- [0033] [제 2 실시형태]
- [0034] 본 발명의 제 2 실시형태는 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 포함하는 이차 전지이다.
- [0035] 제 2 실시형태에 따른 이차 전지는, 양극, 상기 양극과 소정 간격을 두고 대향하여 배치되는 음극 및 상기 양극과 음극 사이에 배치된 전해질을 포함하고, 상기 양극, 음극 또는 전해질 중 적어도 하나는 제 1 실시형태에 따른 이온 전도체를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 상기 양극, 음극 및 전해질은 이차 전지 분야에 공지된 가능한 모든 형태가 적용될 수 있으며, 바람직하게는 전 고체 전지로 구성될 수 있다.
- [0038] [제 3 실시형태]
- [0039] 본 발명의 제 3 실시형태는 나트륨 이온 전지용 이온 전도체의 제조방법으로 다음의 (a) ~ (d) 단계를 포함한다.
- [0040] (a) 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 구성하는 물질의 전구체를 준비하는 단계
- [0041] (b) 상기 전구체를 분쇄하는 단계
- [0042] (c) 분쇄된 전구체를 470℃ ~ 900℃의 온도에서 6 ~ 48 시간 동안 가열하여 합성하는 단계
- [0043] (d) 합성된 물질을 퀀칭(quenching)하는 단계
- [0044] 상기 (a) 단계에 있어서, 상기 전구체는 나트륨(Na), 가돌리늄(Gd), 지르코늄(Zr) 및 염소(Cl)을 포함하는 물질로, 예를 들어, 나트륨(Na) 염화물, 가돌리늄(Gd) 염화물 및 지르코늄(Zr) 염화물일 수 있다.
- [0045] 상기 (c) 단계에 있어서, 합성 온도가 470℃ 미만일 경우 이온 전도성이 우수한 결정 구조를 갖는 화합물을 얻기 어렵고, 900℃ 초과일 경우 합성 용기(예: 도가니)로부터 오염이 발생할 수 있기 때문이다.
- [0046] 상기 (c) 단계에 있어서, 합성 시간은 6 시간 미만일 경우 충분한 합성이 이루어지기 어렵고, 48 시간 초과일 경우 에너지 비용이 과다해지기 때문이며, 6 ~ 48 시간이 바람직하고, 8 ~ 48 시간이 보다 바람직하고, 10 ~ 48 시간이 보다 더 바람직하고, 12 ~ 48 시간이 가장 바람직하다.

- [0047] 상기 (d) 단계에 있어서, 상기 퀀칭(quenching)은 가스 퀀칭일 수 있으며, 가스 퀀칭은 예를 들어 에어 퀀칭(air quenching)일 수 있다.
- [0048] 상기 (d) 단계로 합성된 나트륨 이온 전지용 이온 전도체는 주상의 공간군 $P2_1/n$ 의 결정구조를 가질 수 있다.
- [0050] <실시예 1>
- [0051] 나트륨 이온 전지용 이온 전도체를 합성하기 위한 전구체로는 염화나트륨(NaCl , 99.99% 순도) 분말, 염화가돌리늄(GdCl_3 , 99.99% 순도) 분말 및 염화지르코늄(ZrCl_4 , 99.99% 순도) 분말을 사용하였다.
- [0052] 전구체 분말을 $3-x$ NaCl , $1-x$ GdCl_3 및 x ZrCl_4 ($x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ 및 1.0)의 화학량론적 비율을 가지도록 칭량하였다. 칭량된 원료 분말을 마노 절구를 사용하여 10분간 혼합 및 분쇄하였다.
- [0053] 이와 같이 준비된 혼합 분말을 석영 튜브에 넣고 진공 조건에서 밀봉하였다.
- [0054] 밀봉된 석영 튜브를 박스 퍼니스에 장입하고, $40^\circ\text{C}/\text{h}$ 가열속도로 480°C 까지 가열한 후, 1시간 동안 유지한 후, 공기 중에서 급냉(quenching) 하였다.
- [0056] <실시예 2>
- [0057] 실시예 1과 동일하게 원료 혼합 분말을 준비하였다.
- [0058] 준비된 혼합 분말을 석영 튜브에 넣고 진공 조건에서 밀봉하고, 밀봉된 석영 튜브를 박스 퍼니스에 장입하고, $40^\circ\text{C}/\text{h}$ 가열속도로 460°C 까지 가열한 후, 12시간 동안 유지한 후, $5^\circ\text{C}/\text{h}$ 의 속도로 서냉하였다.
- [0060] 결정 구조 분석
- [0061] 실시예 1 및 2에 따라 합성된 화합물의 결정구조를 확인하기 위하여, $\text{Cu K}\alpha$ 방사선이 장착된 장치를 사용하여 분당 5° 의 스캔 속도로 $10 \sim 90^\circ$ 의 2θ 범위 내 X선 회절(XRD) 패턴을 획득하였다.
- [0062] 도 1은 480°C 에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 XRD 패턴이다.
- [0063] 480°C 에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 경우, x 가 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 및 1.0 모두 공간군 $P2_1/n$ 결정 구조를 가지는 것으로 나타났다.
- [0064] 도 2는 460°C 에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 XRD 패턴이다.
- [0065] 460°C 에서 합성된 $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 의 경우, Na_3GdCl_6 및 $\text{Na}_{2.9}\text{Gd}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{Cl}_6$ 는 공간군 $R-3$ 의 결정 구조를 나타냈다. $\text{Na}_{2.1}\text{Gd}_{0.1}\text{Zr}_{0.9}\text{Cl}_6$ 및 Na_2ZrCl_6 는 공간군 $P-3m1$ 의 결정 구조를 나타냈다. x 가 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8은 공간군 $R-3$ 과 $P-3m1$ 의 결정 구조가 혼합된 상으로 나타났다.
- [0066] 즉, 실시예 1에 따라 상대적으로 고온에서 합성한 후 퀀칭한 화합물과, 실시예 2에 따라 상대적으로 저온에서 합성한 후 서냉한 화합물의 결정 구조가 상이한 것으로 나타났다.
- [0068] 셀 제작 및 임피던스 측정
- [0069] 도 3에 도시된 바와 같이, 직경이 13ϕ 인 화합물 펠릿을 2개의 인듐(In) 포일 사이에 개재하여 만든 펠릿의 양면에 다시 2개의 스테인리스강(SUS) 디스크를 배치한 후, 프레스를 이용하여 4톤의 하중으로 2분간 압착하여 고체 전해질(SSE) 펠릿을 제조하였다.
- [0070] 그런 다음 POM 몰드 중앙에 배치하고, 스테인리스강 표면의 저항을 줄이기 위해 고체 전해질 펠릿의 상단과 하단에 인듐박(두께 $50\mu\text{m}$)을 배치하였다. 마지막으로 셀을 조립하고 토크렌치를 이용하여 4톤의 압력을 가한 후

임피던스를 측정하였다.

[0071] 105 Hz의 주파수 범위에 걸쳐 $\pm 10\text{mV}$ 의 진폭을 갖는 정현파를 적용하여 실온에서 EIS 측정을 하였으며, 그 결과는 도 4 및 도 5와 같았고, 아래 표 1에 그 결과를 정리하였다.

표 1

실시예 1	$\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$										
	x=0	x=0.1	x=0.2	x=0.3	x=0.4	x=0.5	x=0.6	x=0.7	x=0.8	x=0.9	x=1.0
σ (mS/cm)	0.00003	0.00133	0.0183	0.102	0.186	0.338	0.137	0.120	0.088	0.031	0.0004
실시예 2	$\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$										
	x=0	x=0.1	x=0.2	x=0.3	x=0.4	x=0.5	x=0.6	x=0.7	x=0.8	x=0.9	x=1.0
σ ($\mu\text{S/cm}$)	0.0145	0.507	0.865	1.009	1.393	3.412	7.024	2.835	2.807	0.571	0.218

[0074] 표 1에서 확인되는 바와 같이, $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 에서 이온 전도도는 Zr 함량의 증가에 따라 증가하다가 Zr의 함량이 0.5 ~ 0.6 수준에서 정점을 이루다가 다시 감소하는 경향을 나타낸다.

[0075] 실시예 1의 경우, 최고의 이온 전도도는 $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 이며, 0.338 mS/cm에 달하였다.

[0076] 이에 비해, 실시예 2도 Zr의 함량에 따른 이온 전도도의 변화 경향은 실시예 1과 유사하게, $\text{Na}_{2.4}\text{Gd}_{0.4}\text{Zr}_{0.6}\text{Cl}_6$ 에서 최고의 이온 전도도를 나타내었으나 그 수치는 7.024 $\mu\text{S/cm}$ 로 실시예 1에 비해 현저하게 낮았다.

[0077] 이러한 이온 전도도의 차이는 실시예 1의 결정 구조의 공간군이 $P2_1/n$ 인데 비해, 실시예 2의 결정 구조의 공간군이 R-3과 P-3m1의 혼합상으로 이루어진 차이에서 기인하는 것으로 보인다.

[0078] 이로부터, Zr은 이온 전도도를 향상시킬 수 있단 R-3 및 P-3m1 상이 혼합되어 있을 경우 그 효과는 제한적이므로, $\text{Na}_{3-x}\text{Gd}_{1-x}\text{Zr}_x\text{Cl}_6$ 는 실시예 1과 같이 고온에서 진행한 후 퀀칭하는 방식으로 합성하여 공간군이 $P2_1/n$ 인 상(phase)가 되도록 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

[0080] EIS 측정

[0081] EIS 측정에서 가장 높은 이온 전도도를 나타낸 실시예 1에 따라 합성된 $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 의 펠릿을 연마지로 연마하여 표면을 매끄럽게 한 후, 전술한 셀 제작 과정과 동일한 방식으로 셀을 만든 후, EIS 측정을 하였다.

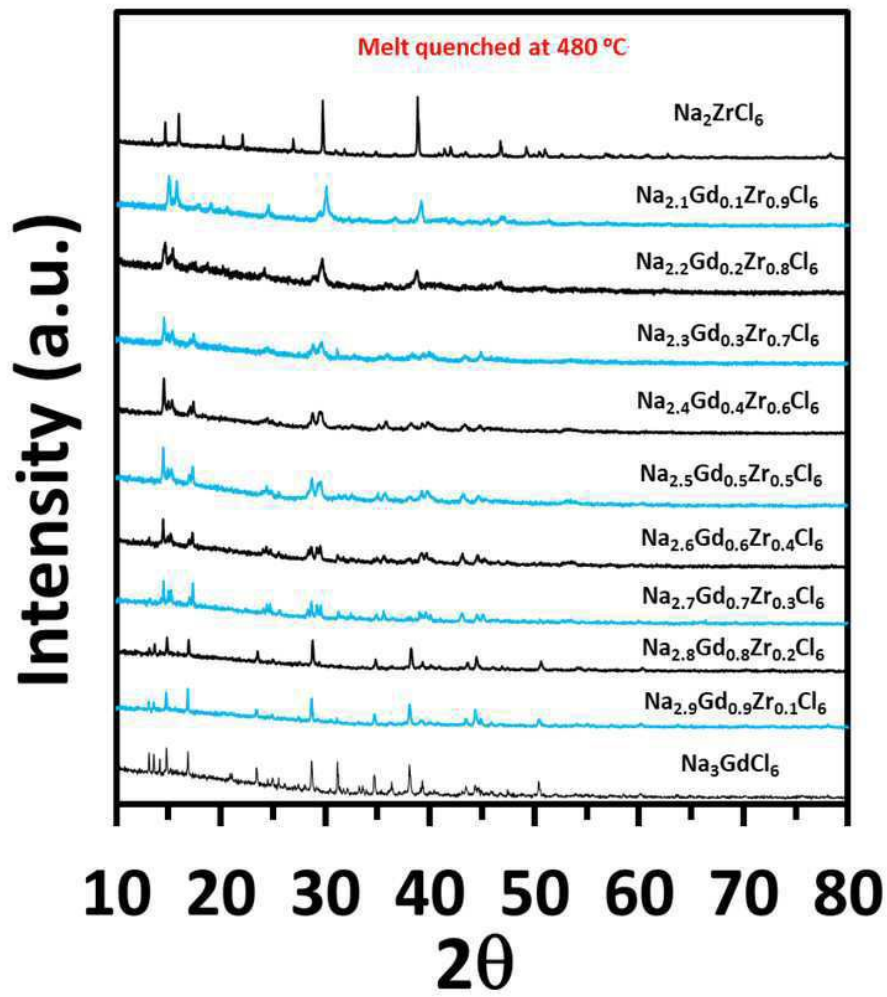
[0082] 도 6은 전기화학 전지에 적용된 $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 펠릿의 나이퀴스트 플롯이다. 도 6의 측정을 통해, $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 펠릿의 이온 전도도는 0.98 mS/cm로 측정되었다.

[0083] 한편, $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 샘플로부터 얻은 XRD 패턴의 리트벨트(Rietveld) 정제를 통해 확인한 결과, 도 7에 나타난 바와 같이, $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 샘플은 완전히 $P2_1/n$ 상으로 이루어져 있다.

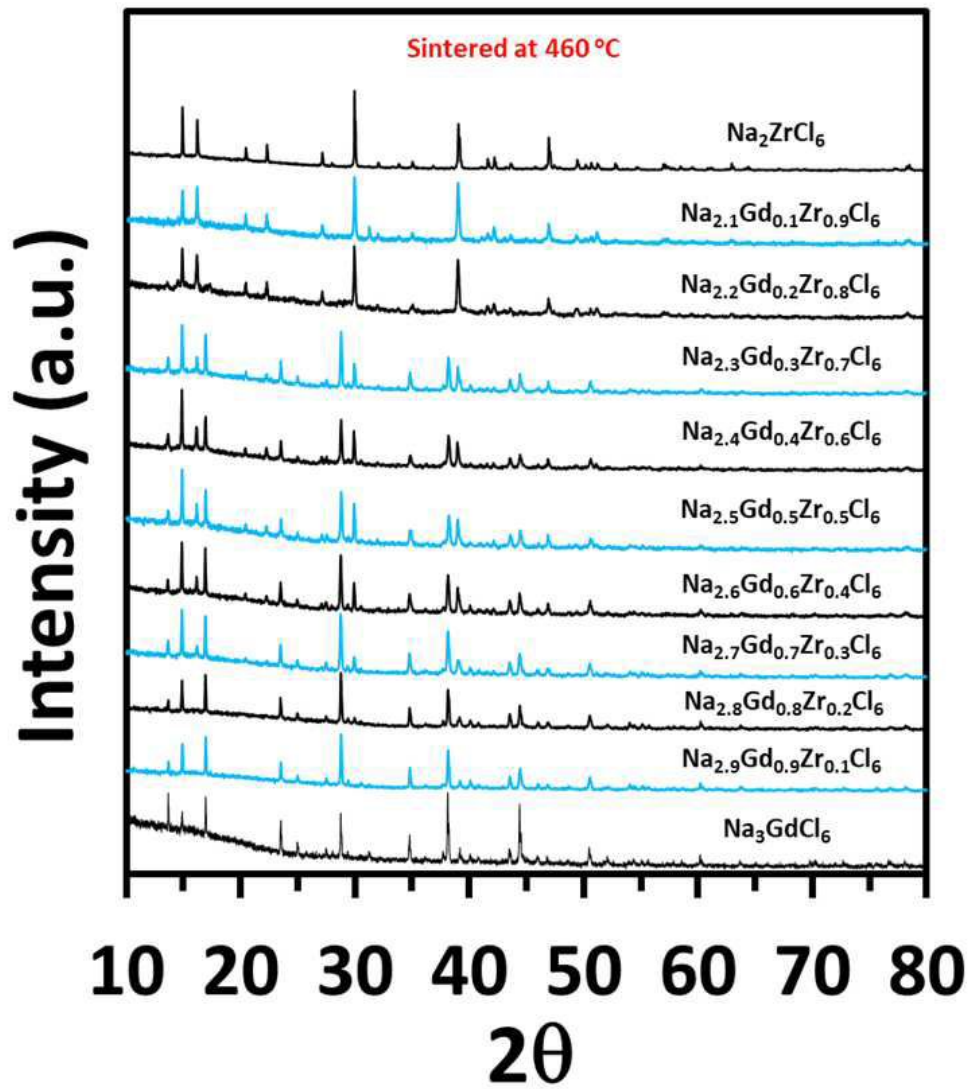
[0084] $\text{Na}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Cl}_6$ 샘플의 이온 전도도는 전고체 나트륨이온전지용 할로젠화물계 고체 전해질 중 최고 수준의 이온 전도도를 달성한 것이다.

도면

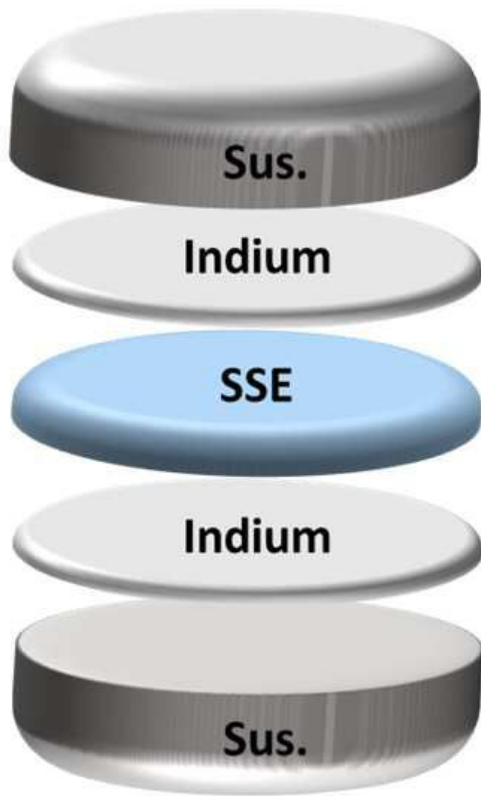
도면1



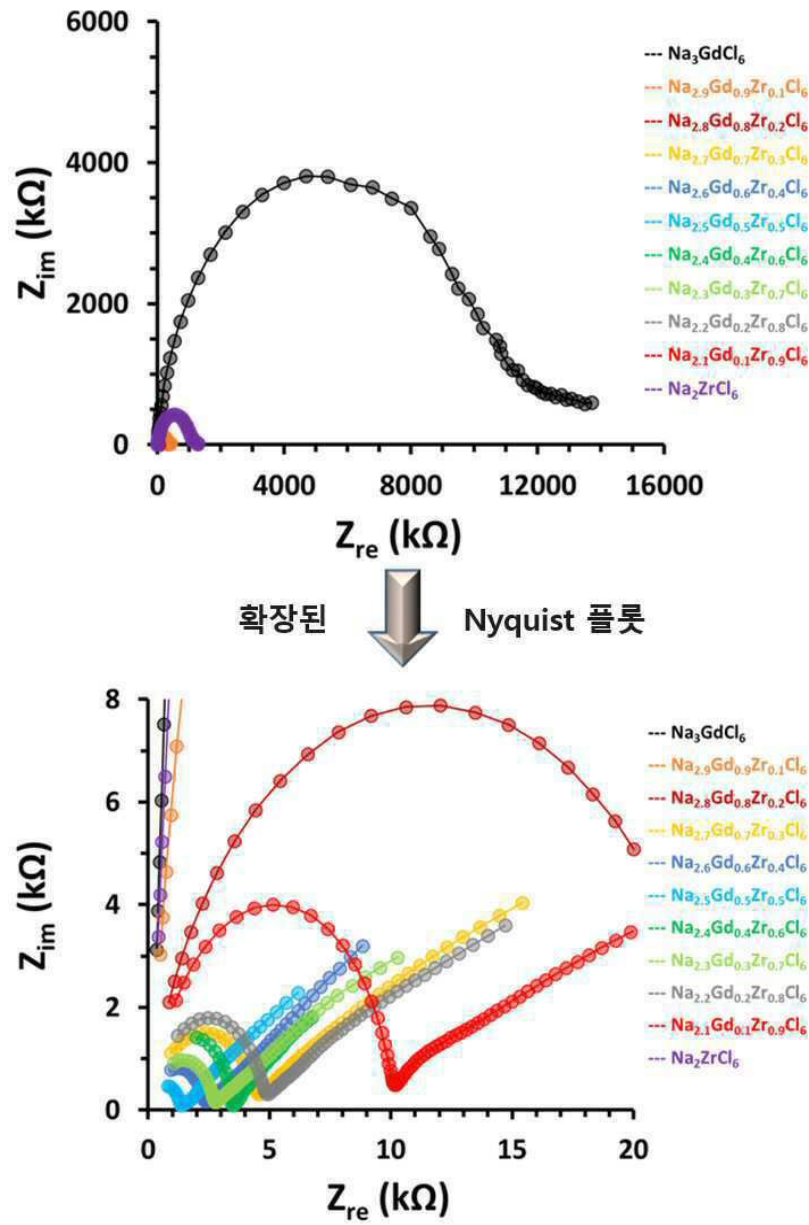
도면2



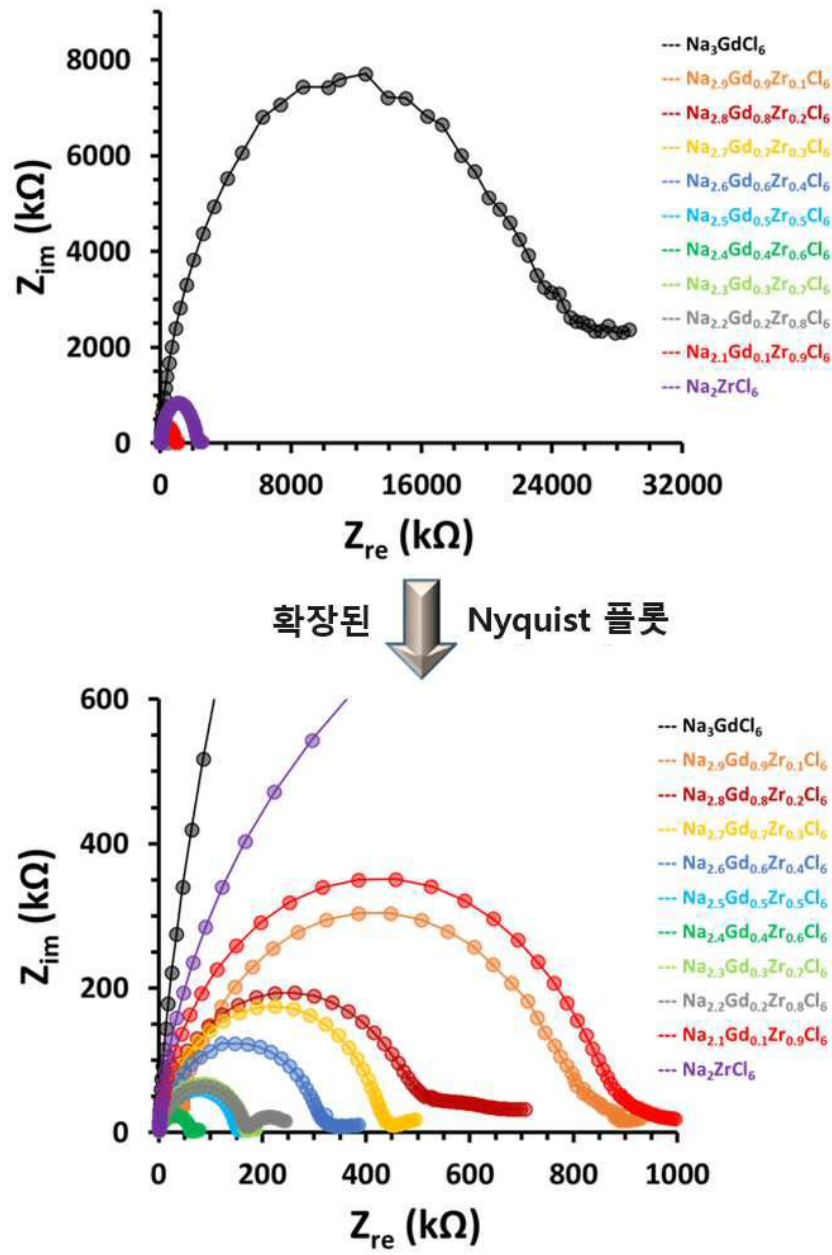
도면3



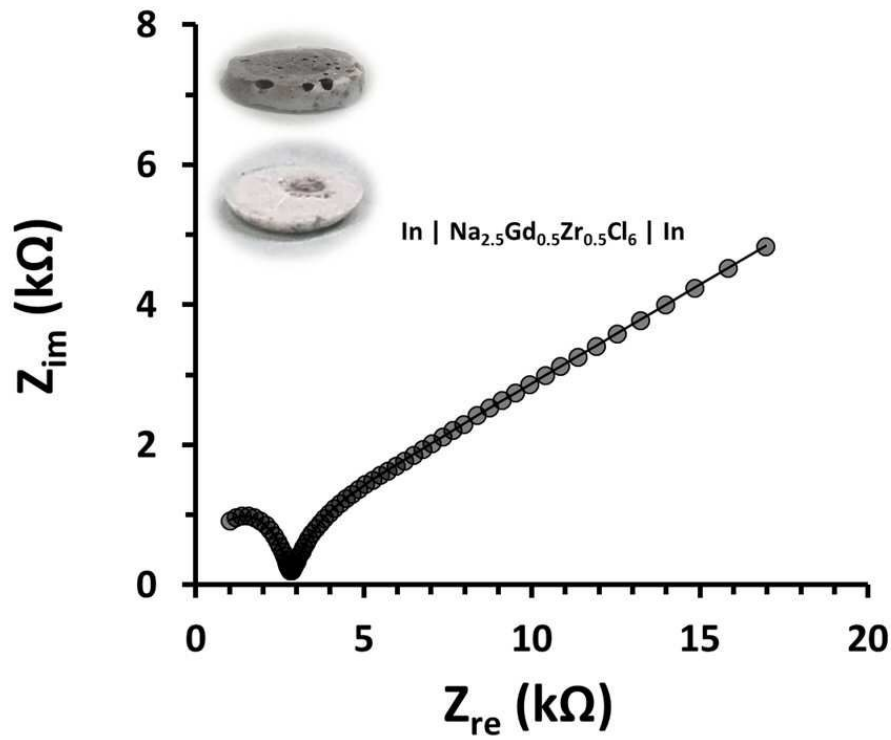
도면4



도면5



도면6



도면7

