

태양광 모듈용 페이스트의 첨가제로 사용하기 위한 폐실리콘 산화물의 전도성 향상 재활용 가능성

김정현*, 이정환*, 정진수*

*주식회사 제이솔루션

e-mail:rigerjh@gmail.com

Possibility of recycling the silicon oxide waste thru enhancing their conductivity as conductive filler for PV module

Junghyun Kim*, Jeonghan Lee*, Jin-Su Jung*

*Jsolution Co., Ltd.

요 약

본 연구는 버려지는 실리콘 산화물을 탄소로 코팅하여 전도성을 향상해 재활용 가능성을 확인한 것으로 실리콘 잉곳 생산 공정 중 발생해 버려지는 흙 형태의 실리콘 산화물을 PVDF를 이용해 탄소로 코팅해 전도성 변화를 확인했다. 흙 형태의 실리콘 산화물을 PVDF를 사용해 탄소로 코팅해 표면에 결정질 탄소층이 형성된 것을 확인할 수 있었고, 태양광 모듈용 백시트에 도포한 결과 백시트의 열전도도는 약 21배 정도 증가했다. 이를 통해 버려지는 폐실리콘을 탄소로 코팅하면 태양광 모듈용 페이스트의 전도성 첨가제로 재활용 가능성이 있는 것을 확인했다.

1. 서론

태양광 모듈을 제조할 때는 전도성 페이스트를 사용하는 데, 대부분 은이나 흑연, 그래핀이 사용되어 단가가 높다는 단점이 있어 탄소 복합재로 대체하려는 연구가 진행 중이다. 한편, 실리콘 잉곳 생산 과정 중 흙 형태의 폐실리콘 산화물이 만들어져 버려지는데, 이를 재활용하는 연구는 음극재로 활용 연구 정도일 뿐 거의 없다.[1] Kim 등[1,2]의 연구 결과에 따르면 이 폐실리콘 산화물은 나노 크기로 탄소로 코팅해 전도성 페이스트의 첨가제로 재활용하면 버려지는 자원을 재사용해 단가를 낮출 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 흙 형태의 폐실리콘 산화물을 탄소로 코팅해 전도성 첨가제로 재활용하는 가능성을 확인하고자 했다. 이를 위해 폐실리콘 산화물을 PVDF라는 고분자를 이용해 탄소를 코팅했고, TEM, 열전도도 분석을 통해 이를 확인했다.

2. 실험 방법

폐실리콘 산화물 회수 및 후처리는 Kim[2]등의 방법을 참고했고, 준비한 샘플은 고분자인 PVDF(polyvinylidene fluoride)와 섞은 후 NMP(N-Methyl-2-Pyrrolidone)에 녹였다. 이후 건조한 분말을 질소 분위기의 전기 가열로에서 열처리해 탄화시켰다. 탄화된 분말의 탄소 코팅층을 확인하기

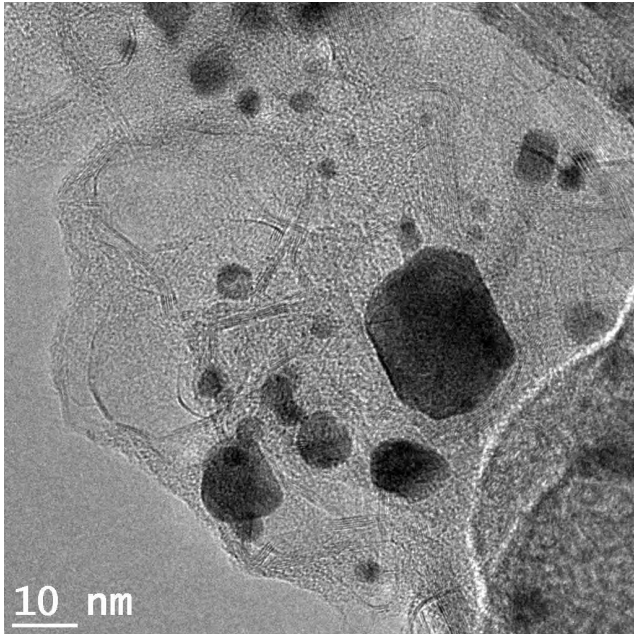
위해 TEM 분석을 했고, 전도성 페이스트의 첨가제로 섞어 전도성 물성 중 열전도도를 측정했다.

3. 실험 결과

표1은 실리콘과 실리카의 열전도도를 기준으로 폐실리콘의 열전도도를 산출해 표기한 표이다. 폐실리콘 산화물을 불산처리해 실리카를 모두 제거한 결과 처리 전 입자의 4wt%만 남아 비율을 기준으로 계산한 결과이다. 그림 1은 결정질 탄소층이 있는 폐실리콘 산화물의 고배율 TEM 사진이다. 짙은 검은색은 폐실리콘 산화물 입자이고 왼쪽의 층상 구조는 탄소이다. 흑연의 경우 면방향 열전도도는 약 1,900W/m_K 정도로 PET(약 0.24W/m_K)의 약 8,000배에 달한다. 코팅된 입자는 흑연이 아니지만, 층상구조의 탄소층을 가지고 있어 폐실리콘 산화물의 6.3W/m_K보다 높을 것이라 예상했다. 표 2는 페이스트에서 전도성 첨가제를 뺀 페이스트와 탄소 코팅된 폐실리콘 산화물을 전도성 첨가제로 첨가한 페이스트

[표 1] 폐실리콘 산화물 열전도도 산출 기준

| | Si | SiO ₂ | SiOx (Si:SiO ₂ =9.6:0.4) |
|------------------------------------|-----|------------------|--|
| Thermal Conductivity [W/m_K] | 124 | 1.4 | 6.3 |



[그림 1] 결정질 탄소층이 있는 폐실리콘 산화물

의 열전도도를 측정된 결과를 보여주는 표이다. 전도성 첨가제를 뺀 페이스트는 에폭시의 낮은 열전도도 때문에 0.36W/m_K의 낮은 열전도도를 보여주지만, 탄소 코팅된 입자를 첨가하면 약 21배 상승해 7.59W/m_K의 열전도도를 가졌다. 이는 탄소 코팅하지 않은 6.3W/m_K 보다 약 20.5% 상승한 수치이지만, 에폭시가 섞이지 않은 상태의 열전도도 계산 값이므로 실제 열전도도 향상 효과는 더 크다. 따라서, 탄소 코팅을 통해 폐실리콘 산화물의 열전도도는 이론 계산값 기준 최소 20% 이상 개선할 수 있으며 이를 통해 전도성 첨가제로 재활용 가능성을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 실리콘 잉곳 생산 공정 중 발생하는 흙 형태의 폐실리콘 산화물에 PVDF를 이용해 탄소를 코팅했고, TEM 분석으로 결정질 탄소층이 있음을 확인했으며 에폭시 레진에 섞어 전도성 지표 중 하나인 열전도도가 약 21배 정도 상승한 것을 확인했다. 이론 계산을 통해 산출한 폐실리콘 산화물의 열전도도는 6.3W/m_K이고 에폭시와 섞은 페이스트의 열전도도는 7.59W/m_K이기 때문에 탄소코팅을 통한 폐실리콘 산화물의 열전도도 향상은 20% 이상이다. 따라서,

[표 2] 전도성 페이스트 열전도도

| | Raw paste (without conductive filler) | With C coated SiOx particles |
|------------------------------------|---|---------------------------------|
| Thermal Conductivity [W/m_K] | 0.36 | 7.59 |

폐실리콘 산화물은 탄소코팅을 통해 전도성 첨가제로 재활용이 가능한 것을 알 수 있으며, 향후 추가 연구를 통해 최적 혼합비를 찾고 전기전도도 변화 분석을 병행할 예정이다.

후기

본 연구는 전라북도 R&D 지원사업의 지원(RA202004-6-C1)에 의해 연구를 수행했습니다.

참고문헌

- [1] J. Kim, et al., "Possibility of Recycling SiOx Particles Collected at Silicon Ingot Production Process as an Anode Material for Lithium Ion Batteries", Scientific Reports, Vol. 9, pp. 13313, 2019.
- [2] J. Kim, et al., "Collection of Silicone Nanoparticles in Ingot Growing Process and Analysis of Particle Characteristics", Key Engineering Materials, Vol. 777, pp. 145-149, 2018.