

## 다상 나노 복합 구조를 가지는 Cu계 벌크 비정질 합금에서 불균일성 제어에 의한 특성 조절

김진우, 박은수

서울대학교 재료공학부, 신소재공동연구소

기존 연구에서는 단일 타겟으로부터 증착된 코팅층 내에 다상으로 이루어진 나노 복합구조를 형성하기 위하여, 나노 합금분말을 방전플라즈마 소결법 등으로 급속 소결하여 타겟을 제조하는 방법이 고려되어 왔다. 반면, 비정질 재료가 우수한 비정질 형성능을 가지는 경우 주조 방법에 의해서도 타겟 제조가 가능하며, 특히 최근 들어 급속 비정질 합금에서 합금의 주요 구성 원소들이 양의 혼합열을 가지는 경우, 액상 또는 과냉각 액상에서 상분리 현상이 발생한다는 것이 밝혀졌다. 이러한 사실에 기초하면, 우수한 비정질 형성능을 가지는 합금 시스템에 합금 구성 원소와 양의 혼합열 관계를 갖는 원소를 첨가함으로써, 비정질 기지 내에 화학적 불균일성을 유도하여 다상으로 이루어진 복합 구조를 형성시키는 것이 가능하다. 본 연구에서는 이러한 합금 설계법을 이용하여, 비정질 기지 내에 존재할 수 있는 불균일성 정도를 합금 조성과 주조 조건의 변화를 통하여 나노 크기에서 원자 크기까지 조절하고, 이에 따른 재료 특성과의 상관관계를 밝히고자 하였다. 이를 위하여 우수한 비정질 형성능을 가지는 Cu-(Zr, Hf)-Al 벌크 비정질 합금계에서 (Zr, Hf)과 (Y, Gd)간의 양의 혼합열 관계에 주목하여 Cu-(Zr, Hf)-(Y, Gd)-Al 벌크 비정질 형성 합금계를 설계하였으며, 이 합금계 내에서 조성과 냉각속도의 조절에 따라 나타나는 불균일성의 정도와 특성변화의 영향을 체계적으로 고찰하였다. 결과로서, Cu-(Zr, Hf)-Al 합금계에서 (Zr, Hf)을 (Y, Gd)으로 15 at.% 이상 치환한 경우, Cu-(Zr, Hf)-rich 와 Cu-(Y, Gd)-rich 비정질상으로 이상분리가 일어났으며, 이렇게 생성된 비정질-비정질 복합재는 응력 하에서 소성 변형을 거의 보이지 않았다. 반면, 5 at.% 이하로 (Zr, Hf)을 (Y, Gd)으로 치환한 경우에는 비정질 기지에 SAXS 혹은 WAXS로 확인 가능한 원자 크기의 불균일성이 나타났으며, 이 경우 비정질 합금의 점성 유동의 변화를 통해 합금의 연신 특성이 향상되었다. 특히, 본 연구에서는 비정질 기지내 불균일 제어를 통한 기계적 특성 향상을 위해서 조성 제어뿐 아니라 동역학적인 요소를 고려한 냉각속도 조절을 통한 원자단위 불균일성의 최적화가 필요함을 규명하였다. 이러한 연구 결과는 분말화 및 소결 과정을 배제하고 제조된 단일 타겟을 통해 코팅층에 다수의 합금원소를 혼합하고 나노/원자 스케일의 복합구조 형성 및 고집적화가 가능한, 타겟 모듈 설계의 새로운 방향을 제시함으로써 다기능성 복합소재 코팅층의 연구에 크게 기여할 것으로 사료된다.

**Keywords:** 벌크비정질, 불균일제어, 다상나노복합재, 다기능성 코팅층