

HREM영상 분석을 통한 Decagonal 준결정의 tiling 및 성장기구

김 인준, 정 형채*, 김 원태**, 김 도향

연세대학교 재료공학부 준결정재료연구단

*세종대학교 물리학과 **청주대학교 물리학과

1. 서론

준결정은 금지된 symmetry를 가지는 재료이며, decagonal 상은 준주기적 원자배열을 가지는 면들이 수직으로 주기적으로 배열된 미세구조를 지니고 있다. Atomic decoration이 아직 밝혀지지 않은 decagonal 준결정상의 미세구조는, tile이라고 불리는 atomic cluster를 기본단위로 간주하여 해석하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는, 대표적인 성장 기구로 알려지고 있는 Penrose tiling(그림 1(a))과 random tiling(그림 1(b))에 의한 미세구조를 서로 구별할 수 있는 기준을 제시하였고, Al-Ni-Co 계에서 얻어진 고분해능 전자현미경(HREM) 사진을 디지털화 하여, 이러한 기준에 실제로 적용시켜 보고자 하였다.

2. 실험방법

75Al-11Ni-14Co 합금을 Czochralski 법을 사용하여 단결정성장시켰으며, seed는 수직방향이 10회축의 준주기결정면이 되도록 하였다. Induction melting에 의해 용해시킨 용탕을 도가니 온도 970°C로 유지하면서 seed를 접촉시켰고, 인상속도는 1~2 mm/hr 였으며 970°C부터 상온까지 약 100 시간에 걸쳐서 냉각하였다.

10회축의 결정면에 대해 고분해능 전자현미경 영상을 얻었으며, 임의의 점을 기준으로 각 vertex에 지수를 부여하였다. 디지털화 된 지수값으로부터 직교좌표계 공간에서의 분포를 계산하였다. Linux 기반의 C 언어를 사용하였으며, 계산된 결과를 바탕으로 Adobe사의 PostScript 언어를 활용하여 그래픽으로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

고분해능 전자현미경 영상으로부터 decagon을 그려 얻은 지수값을 사용하여 실공간에 도시한 결과, 원본 이미지에서의 vertex 점이 유사하게 재현됨을 확인할 수 있었다.(그림 2) 각 vertex 점들을 직교좌표계로 이동시킨 결과, 5 차원 cubic window를 포함하는 원 내에 대부분의 vertex가 존재하였다.(그림 3)

Penrose tiling과 random tiling과의 정량적 비교를 위해, 반경을 점차 넓혀가며 그 반경 내에 포함된 vertex 들의 직교 좌표들이 어떻게 분산되어 있는지 관찰하는 R-dependence test

를 실시하였다.(그림 4(a)) 그 결과 반경을 증가시켜도 분산값은 증가하지 않는 것으로 확인되었고, 따라서 실험에 사용된 합금은 Penrose tiling을 따르고 있다고 해석 가능하였다.

4. 결론

As-grown 75Al-11Ni-14Co decagonal 상으로부터 얻어진 고분해능 전자현미경 영상은 decagon covering을 기초로 하여 분석할 수 있는 지수 형태로 변환이 가능하였고, R-dependence test 결과 Penrose tiling을 따르고 있었다.

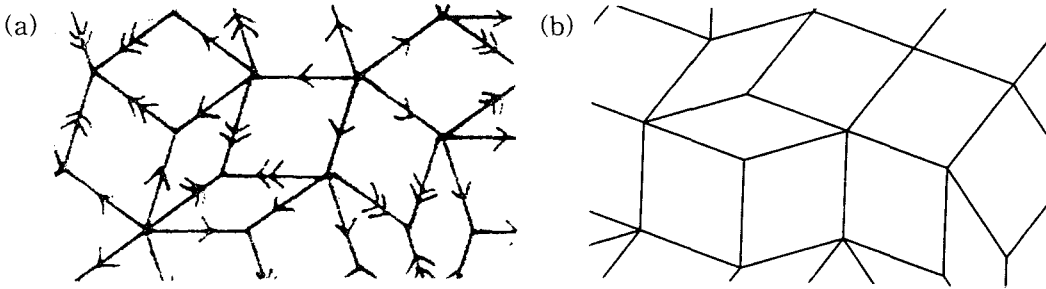


Fig. 1. (a) Penrose tiling with matching rules. (b) Random tiling.

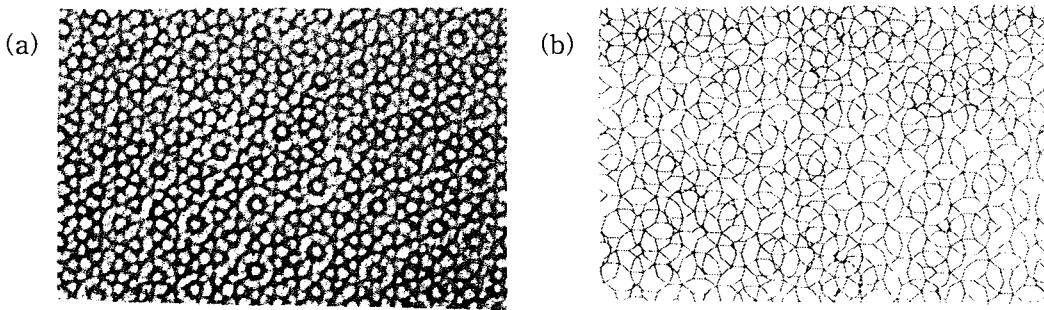


Fig. 2. (a) HREM image. (b) Digitized image from vertex points.

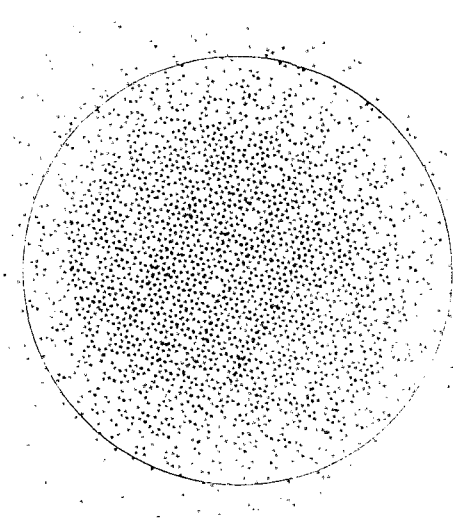


Fig. 3. Perp-space image.

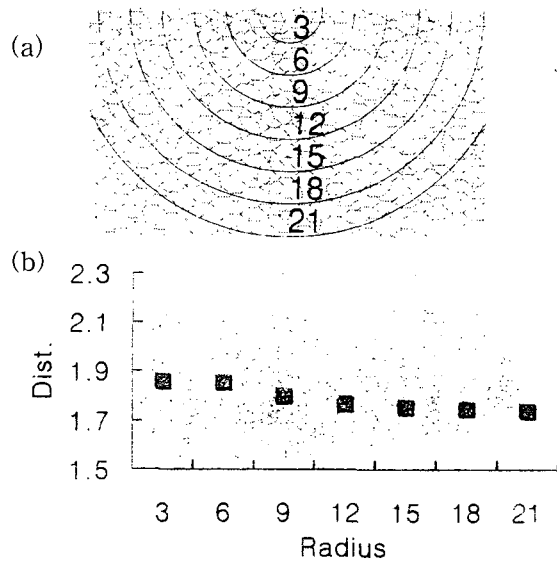


Fig. 4. (a) Test concept. (b) Result.