

$$1. \Delta G = -V\Delta G_N + \sum A_i \gamma_i$$

$$= -V\Delta G_N + (l^2 + 4lh)\gamma_{cv} + l^2\gamma_{sc} - l^2\gamma_{vs}$$

$$= -l^2h\Delta G_N + (l^2 + 4lh)\gamma_{cv}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \gamma_{vs} = \gamma_{sc} + \gamma_{cv} \cos 90^\circ = \gamma_{sc}$$

$$i) \left( \frac{\partial \Delta G}{\partial h} \right)_{h=h^*, l=l^*} = -l^* \Delta G_N + 4l^* \gamma_{cv} = 0$$

$$\boxed{\therefore l^* = \frac{4\gamma_{cv}}{\Delta G_N}}$$

$$ii) \left( \frac{\partial \Delta G}{\partial l} \right)_{h=h^*, l=l^*} = -2l^*h^* \Delta G_N + (2l^* + 4h^*)\gamma_{cv} = 0$$

$$= -\frac{8\gamma_{cv}}{\Delta G_N} h^* \cdot \Delta G_N + \left( \frac{8\gamma_{cv}}{\Delta G_N} + 4h^* \right) \gamma_{cv} = -8\gamma_{cv} h^* + \frac{8\gamma_{cv}^2}{\Delta G_N} + 4h^* \gamma_{cv}$$

$$\boxed{\therefore h^* = \frac{2\gamma_{cv}}{\Delta G_N}}$$

$$iii) \Delta G^* = -\frac{16\gamma_{cv}^2}{\Delta G_N^2} \cdot \frac{2\gamma_{cv}}{\Delta G_N} \cdot \Delta G_N + \left( \frac{16\gamma_{cv}^2}{\Delta G_N^2} + 4 \cdot \frac{4\gamma_{cv}}{\Delta G_N} \cdot \frac{2\gamma_{cv}}{\Delta G_N} \right) \gamma_{cv}$$

$$= -\frac{32\gamma_{cv}^3}{\Delta G_N^2} + \frac{48\gamma_{cv}^3}{\Delta G_N^2} = \boxed{\frac{16\gamma_{cv}^3}{\Delta G_N^2}}$$

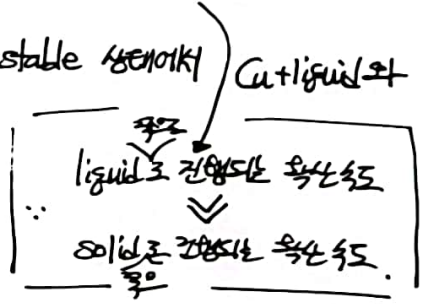
2. ① Prediction of interface reaction products ... Cu and Various Solder Alloys ...

- 문제 목표: Cu와 Solder alloy 간의 soldering 과정에서 가장 먼저 생기는 reaction product 예측하기.

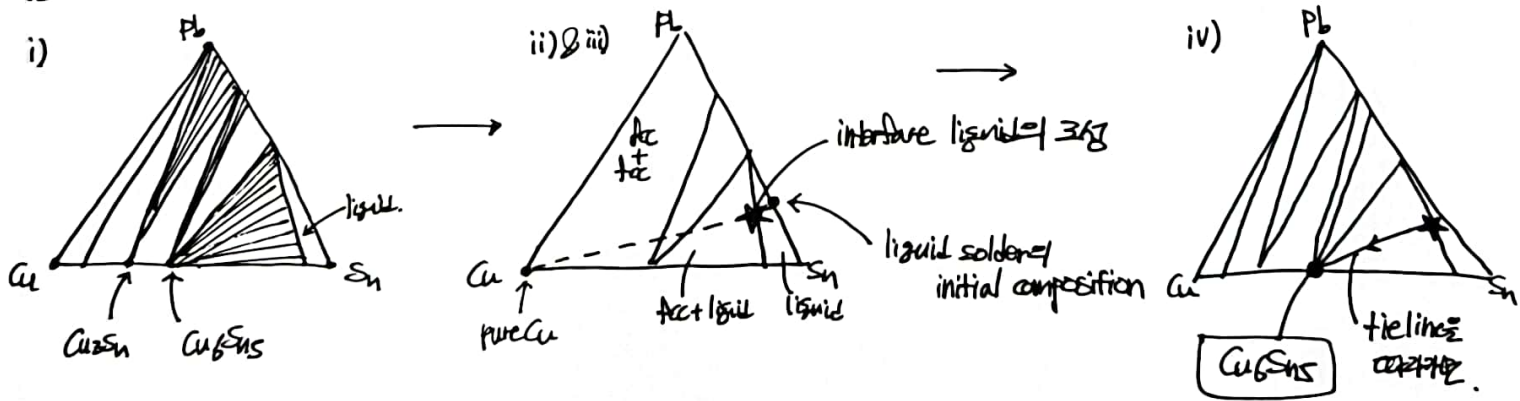
Cu &  $\begin{cases} \text{Sn} \\ \text{Sn-Pb} \\ \text{Sn-Bi} \\ \text{Sn-Zn} \end{cases}$

solder의 wettable성을 높이기 때문에  $\rightarrow$  이러한 방향으로 diffuse 할 수 있는 가능한 metal-ceramic 사이의 interface reaction product를 예측하는 모델이 있지만 first-forming 하는 것 보다는 보통.

- 조건 : i) substrate/solder alloy의 ternary system의 phase diagram (isothermal) 그리기.
- ii) metastable equilibrium (interface reaction product X)를 형성하는 이계의 system은 이들 중에 구하기.
- iii) liquid interface에서 solder alloy의 두 element의 비율이 유지될 것을 가정할 수 있기 때문에, "pure Cu와 liquid solder의 initial composition을 이룬 것"과 "metastable 상에까지 liquid phase boundary 선이 면하는 부분"이 interface의 조성.
- iv) tie-line을 사각형에서 따라가서 같은 phase diagram에서 같은 compound이 형성되는 목적.
- v) 만약 두 구간 사이에 도달하면 driving force 계산하기.



- 조건 : Cu와 Sn-Pb의 경우.



- 조건 : Cu와 Sn-Ag의 경우. isothermal section이 완전히 없어서 안됨. 이 경우라면 이 방향을 통해 interface reaction product를 결정할 수 없음.

2. ㉔ Prediction of Ti/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Interface Reaction ...

- 실험 목적: Ti / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal-ceramic joining 이기 위해서는 interface reaction product 를 예상하기.

↳ 2.10에서 공부한 metastable equilibrium을 이용하는 방식을 사용.

그러한 이유: solid/liquid interface에서는 liquid 쪽으로 확산되는 속도가 solid 쪽으로 확산되는 속도보다 매우 빨라 반응이 균일하다고 가정 가능함.  
⇒ solid/solid interface에서는 해당 가정 X.

그러면 ~~이러한~~ interface의 반응을 어떻게 알아내지? ∴ diffusion simulation.

- 결론 방식: 2.10의 i), ii) 가리 동일하게 관행.

- iii) diffusion simulation (multicomponent diffusion 등) 을 이용하여 시간별 diffusion path 추적하기.
- iv) 초기 interface 조성 기준으로 driving force 를 계산하여 interface reaction product 예상하기.
- v) 얻어진 product ~~이후에~~ 가 시간에 따라 변화하는 것을 확인.

- 실험 결과 ∴ 최저는 diffusion path 에 따르면 TiAl 이 가장 driving force 가 큼. ∴ TiAl 이 형성됨.

↳ O의 diffusion이 Ti에 비해 훨씬 빨라 activity 가 커질 것.  
⇒ diffusion path도 O의 activity curve를 따를 것.

- TiAl이 형성된 뒤 시간이 지나면 Ti 내의 O이 saturation됨.

이때 따라 diffusion path에서 갈 수 있는 interface composition도 Al이므로 O가 들어감.

∴ O potential이 높아져 TiAl의 양 감소, Ti<sub>3</sub>Al 양 증가 ∴ 시간이 따라 TiAl → Ti<sub>3</sub>Al

- 예측 vs 실제 실험 결과: 예상한 결과가 맞는지 확인하기 위해 실험 결과.

① Ti / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 이끼 Ti layer가 충분히 두꺼운 경우

⇒ TiAl은 Ti가 O에 saturation 되기전 바뀌기 있기 때문에, Ti가 두꺼우면 saturation이 오래 걸려 시간이 지남도 실험을 할 것.

⇒ 실제 실험 결과에서도 Ti<sub>3</sub>Al과 TiAl 둘다 관측됨.

② Ti layer가 얇은 경우

⇒ Ti layer가 얇으면 saturation이 빠르게 일어나서 TiAl → Ti<sub>3</sub>Al 으로 바뀔 수 있음.

⇒ 실제 실험에서도 Ti<sub>3</sub>Al만 관측됨.