

글라스 비아·RDL·ABF 배선을 위한 기능화 SQ 구리 금속화

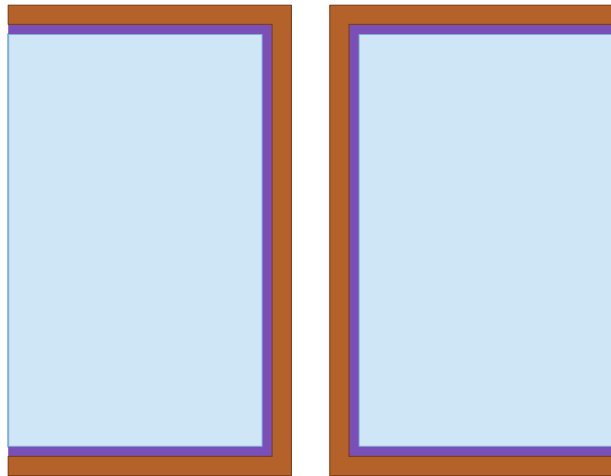
조진현 쿨스 대표 jhcho@cools.co.kr

SUMMARY

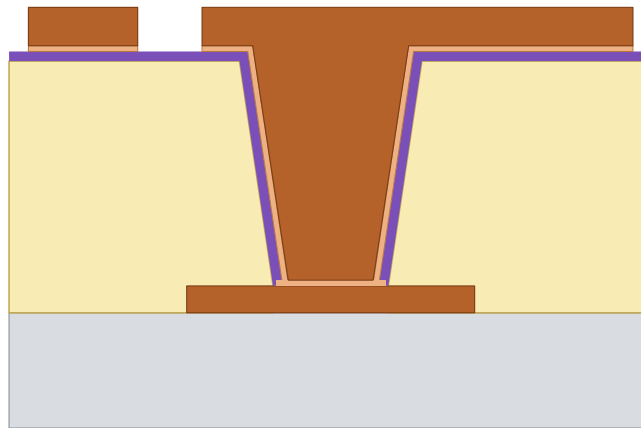
글라스 비아와 RDL층의 시드는 진공 스퍼터에, ABF 위 배선의 밀착은 조면화에 의존한다. 기판에 화학적으로 고정되는 기능화 SQ 코팅층이 촉매나 구리 이온을 잡아 습식 시드와 평활한 밀착 계면을 함께 만든다. SQ 소재 설계 원리와 세 적용처별 공정 전환, PI 위 선행 연구 결과, 첫 실험 구성을 다룬다.

기능화 SQ 기반 구리 금속화 기술

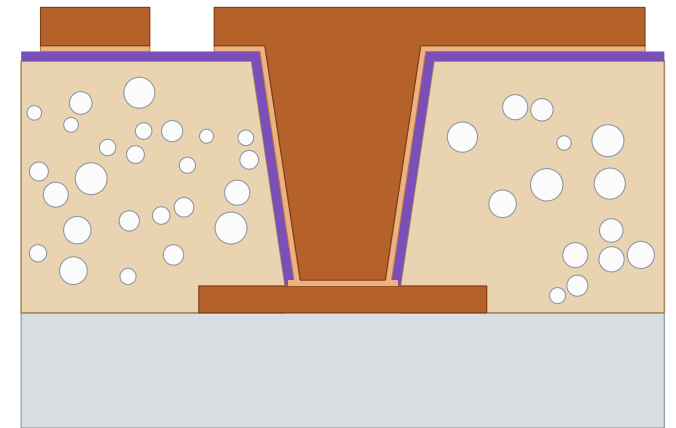
글라스 비아 · RDL층 · ABF 무조면화 배선



TGV 내벽



RDL 배선



ABF 위 배선

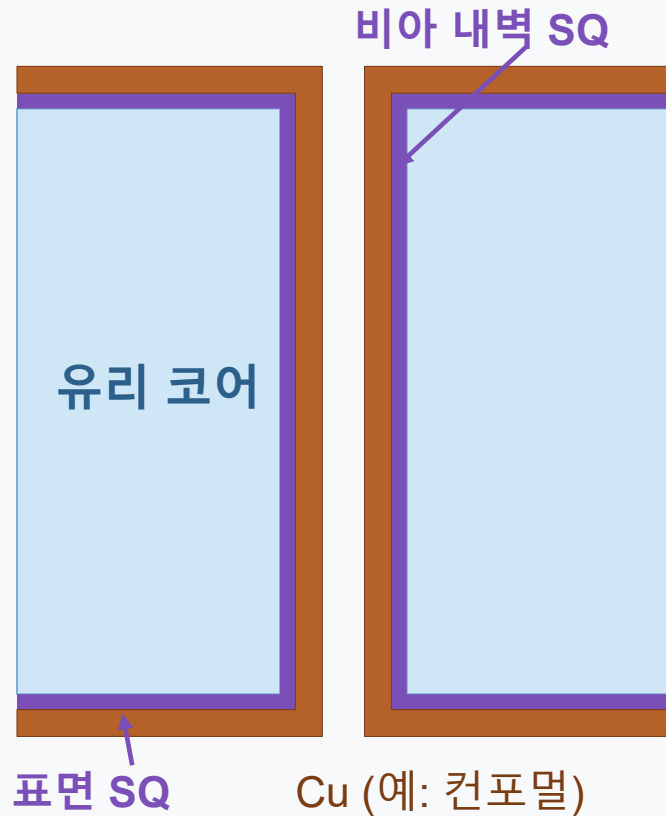
■ 기능화 SQ ■ Cu

조진현 | (주)쿨스 대표

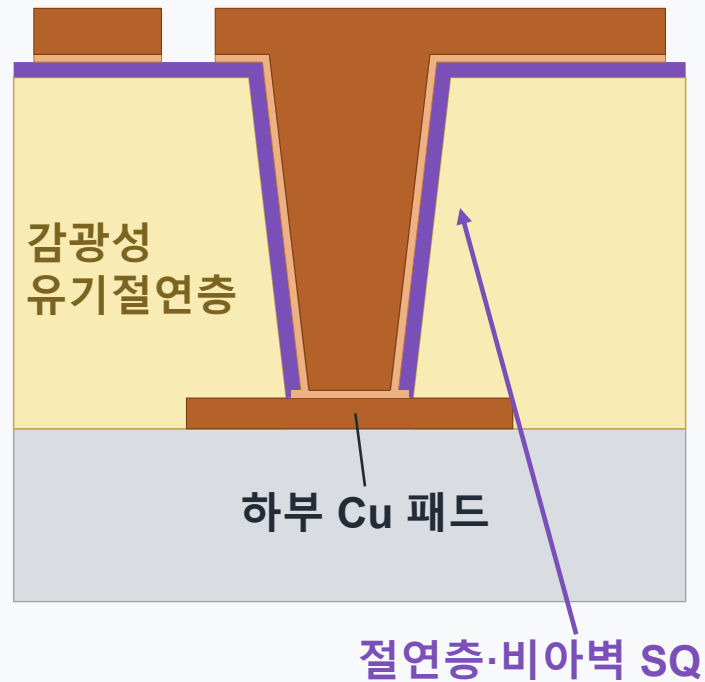
세 가지 적용 위치

공통 방향

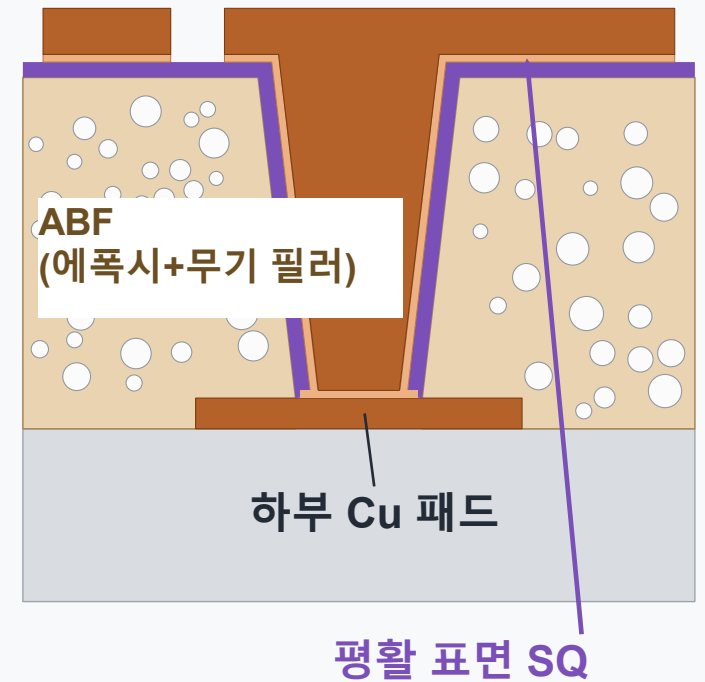
적용 예 A · 글라스 비아(TGV)



적용 예 B · RDL층



적용 예 C · ABF 기판



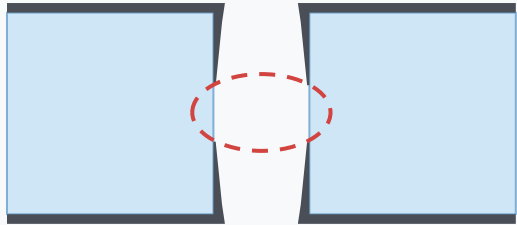
보라색 = 기능화 SQ 코팅 위치 | 세 구조는 하나의 적층이 아닌 개별 적용 예

적용별 공정 전환

공통 방향

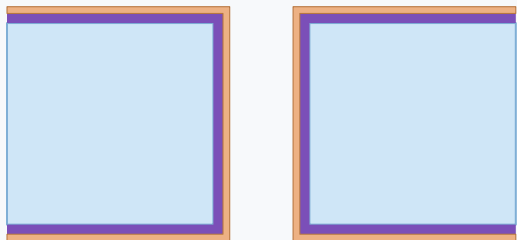
TGV

기존



비아 내벽 시드 → SQ 습식 시드

개발



유지

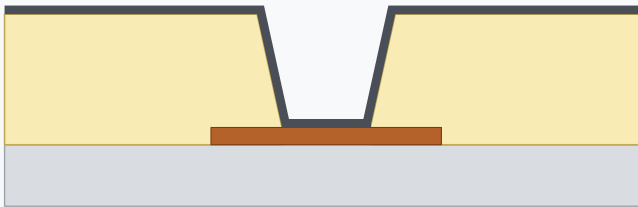
포토

전해 Cu

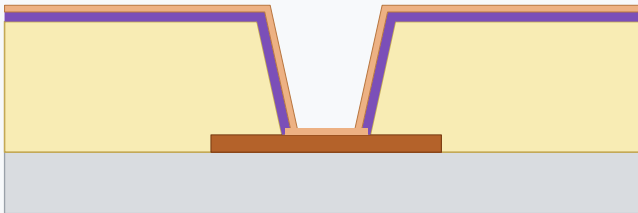
시드 에칭

RDL층

Ti/Cu 스퍼터



스퍼터 시드 → SQ 습식 시드



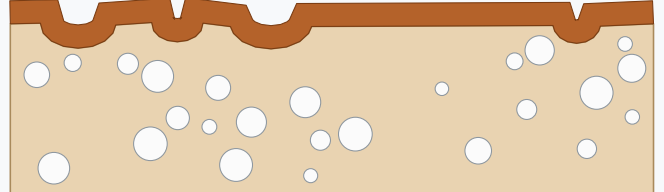
포토

전해 Cu

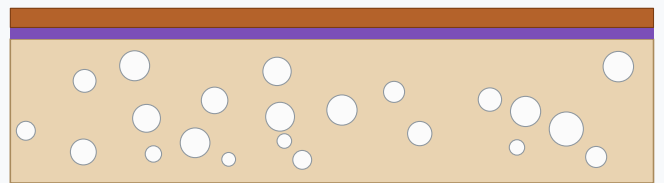
시드 에칭

ABF 기판

거친 계면 + Cu



조면화 밀착 → 평활 SQ 계면



포토

전해 Cu

시드 에칭

바꾸는 곳은 시드·계면 형성 모듈 | 전해도금·포토·에칭은 기존 라인 그대로 사용

기능화 SQ 코팅층의 역할

소재·원리

소재 설계 개념도

두께 비례 아님

기판 고정용 기능기

포획용 기능기 · 담지

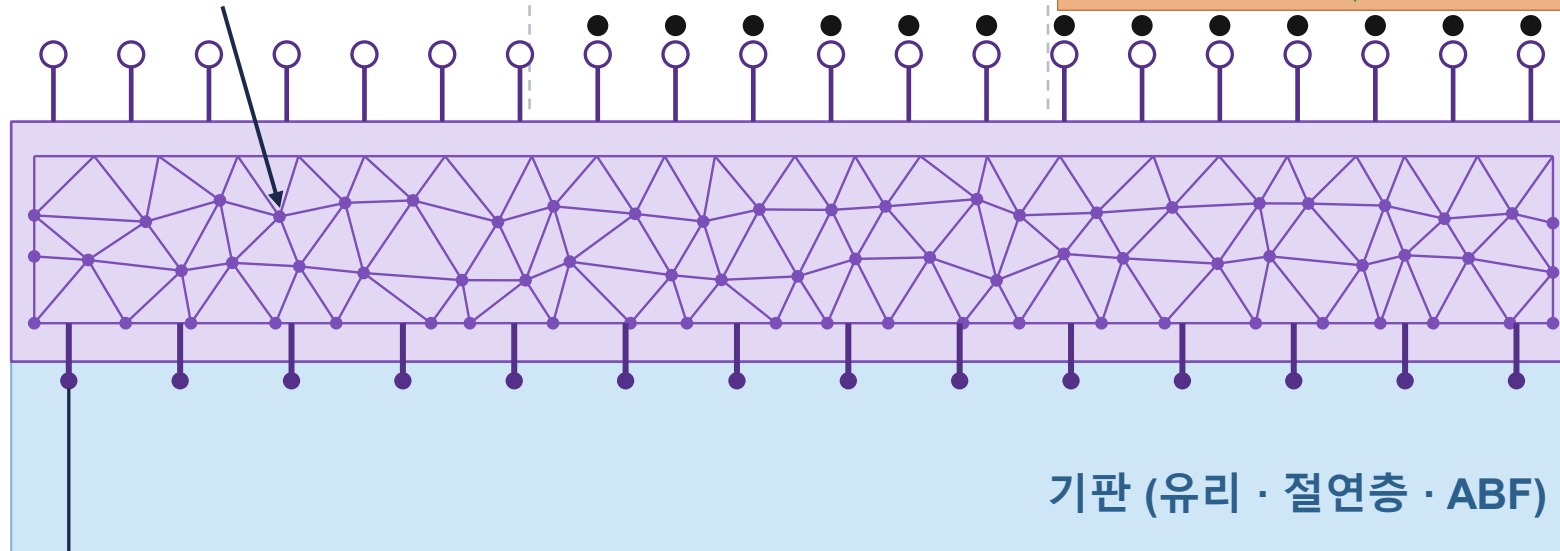
활성화 · 환원 → Cu 성장

활성화 · 환원 단계

전해 Cu

3 경화 조건으로
가교 망목 고정

2 금속 이온·촉매
포획용 기능기



1 기판 고정 (계면 결합)

1 기판 고정용 기능기

알콕시실릴 · 실란올 등
기판과 결합할 기를 별도
설계

2 포획용 기능기

티올 · 포스포네이트 ·
카복실레이트 등

3 경화 조건

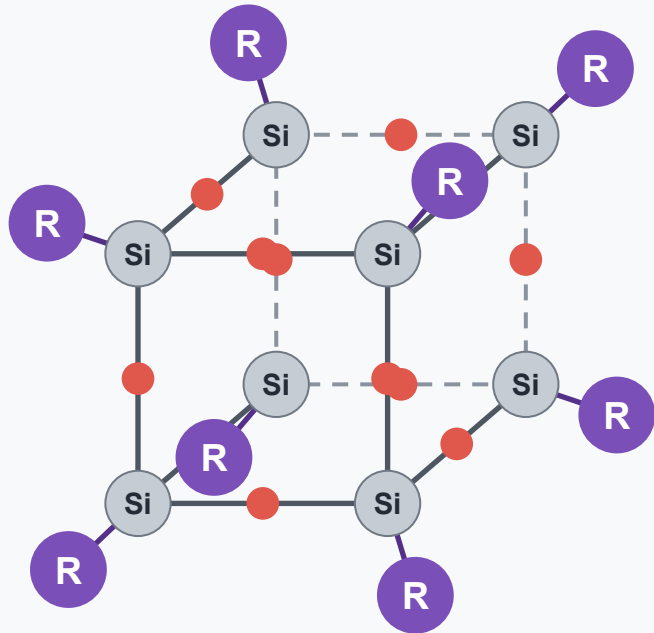
건조 · 경화 온도와 시간으로
가교 망목을 고정

골격 종류만으로 결합력과
막 내구성이 정해지지 않음
— 기능기와 경화 조건으로
설계

POSS와 래더형 PSQ

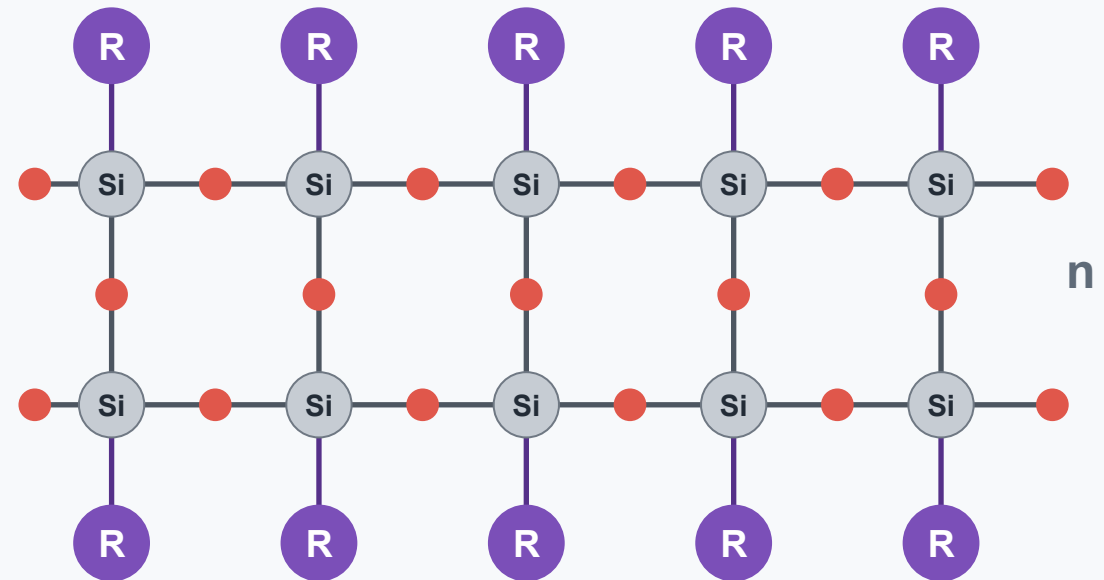
소재·원리

케이지형 POSS ($T_8: R_8Si_8O_{12}$)



8개 Si 꼭짓점 · 12개 Si-O-Si 모서리 · R 8개

래더형 PSQ ($[RSiO_{1.5}]_n$ 이중사슬)



연속 Si-O-Si 이중사슬 · 가로대 O · 양측 R

■ Si ■ O (Si-O-Si) ■ R = 도입 기능기

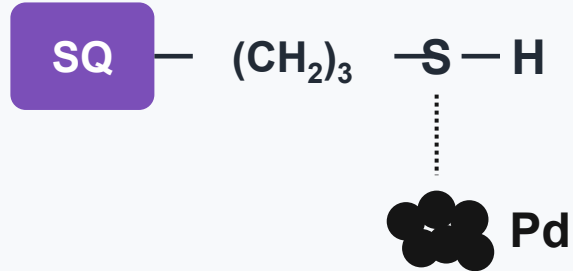
공통 조성 $(RSiO_{1.5})_n$ | 차이는 골격 형태 | 이온성·금속 결합성은 R 기능기가 결정

금속화용 기능기 선택

소재·원리

촉매 담지 경로

티올형 -SH

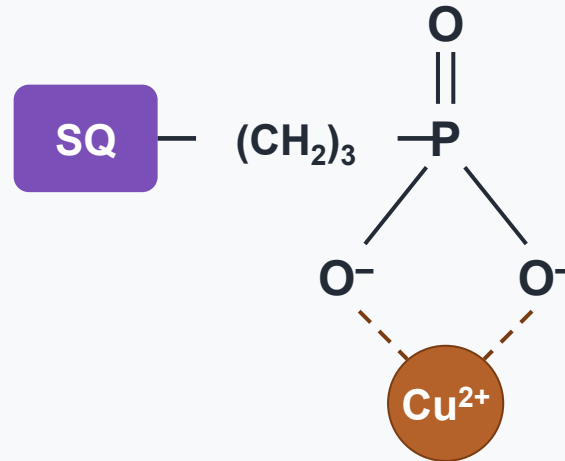


잡는 것 Pd 촉매 (콜로이드·이온)

연결 촉매 담지 → 무전해 Cu
→ 전해 Cu

Cu²⁺ 배위 설계

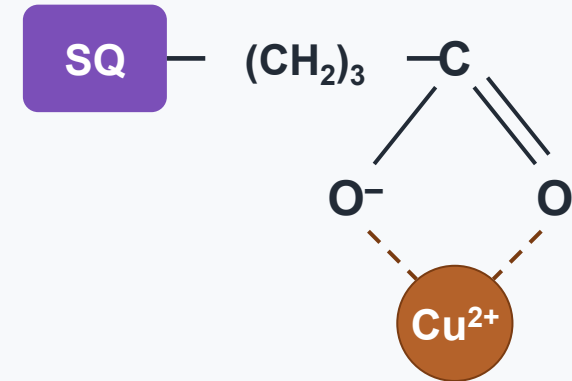
포스포네이트형 -PO₃²⁻



잡는 것 Cu²⁺ 등 금속 이온

연결 이온 담지 → 환원 핵생성
→ 무전해·전해 Cu / SPEA

카복실레이트형 -COO⁻



잡는 것 Cu²⁺ 등 금속 이온

연결 이온 담지 → 환원 핵생성
→ 무전해·전해 Cu

선택 기준 = 잡을 대상 × 연결할 공정 | 기능기 간 보편적 우열 순위 없음

PI 위 기능성 PSQ의 선택적 무전해 구리 배선

소재·원리

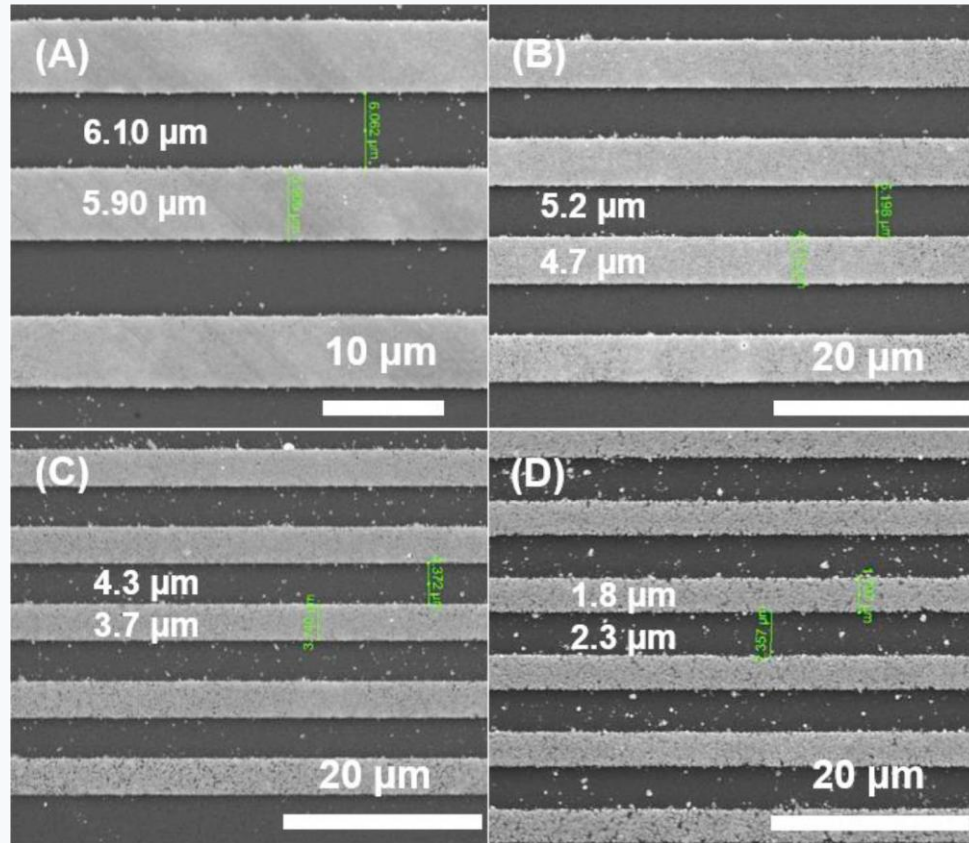


Fig. 6 마스크 선포에 따른 무전해 Cu 배선 (A) 6 μm (B) 5 μm (C) 4 μm (D) 2 μm
스케일바: (A) 10 μm , (B)(C)(D) 20 μm | 흰색 수치는 실측 배선 폭

실측 배선 폭과 비저항

마스크	실측 배선 폭	비저항
6 μm	6.10 / 5.90 μm	3.8 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
5 μm	5.2 / 4.7 μm	4 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
4 μm	4.3 / 3.7 μm	7 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
2 μm	1.8 / 2.3 μm	66 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

벌크 Cu 비저항 1.67 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

6 · 5 · 4 μm : 마스크에 대응하는 선포가 형성되고 비저항이 벌크 Cu에 근접

2 μm : 조밀한 도전 경로를 만들지 못해 비저항이 한 자릿수 이상 상승

보고된 최소 구현 선포 4 μm (양호한 형상 기준)

원문은 광반응으로 위치를 지정 (부록 A1) | 제안 공정은 전면 SQ 코팅 + 기존 포토 · 전해 · 에칭

SQ 코팅에 의한 PI 표면 평활화와 배선 형성

소재·원리

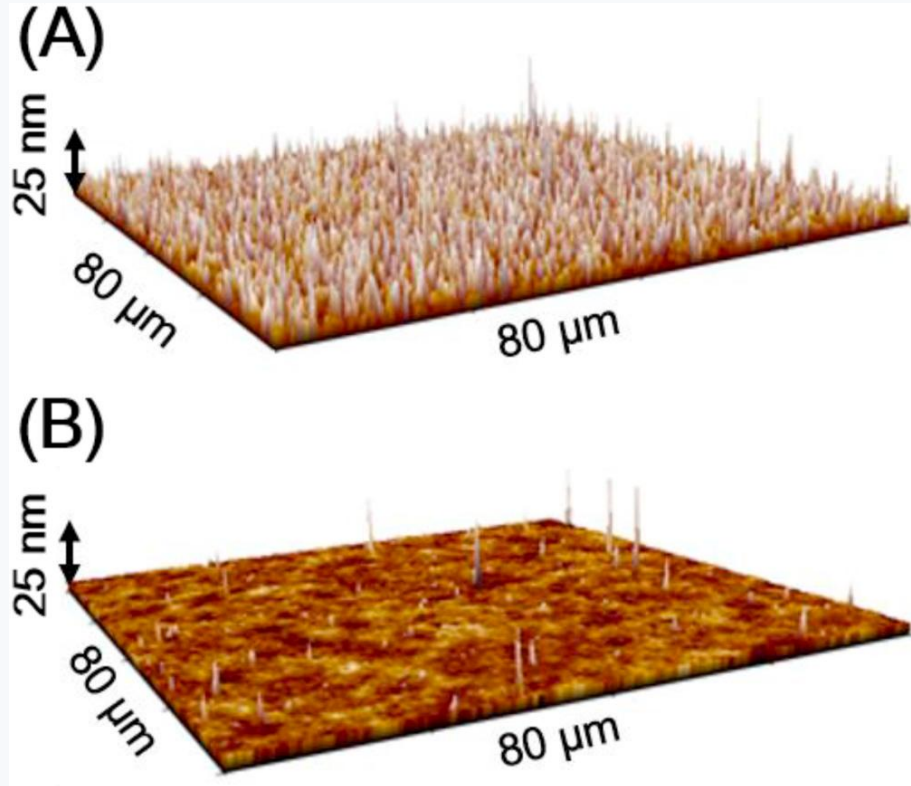


Fig. 10 AFM 토폴로지 (A) PI 필름 (B) LATHPSQ55 코팅 PI
측정 영역 80 × 80 μm, 높이 축 25 nm

참고 · 상용 무전해용 Cu 박 Ra 7~8 nm

표면 조도 Ra

2.43 nm

약 82 % 감소

0.43 nm

PI 기재

SQ 코팅 PI

배선 바탕면의 변화

두께 비례 아님

코팅 전 — 기재 요철이 그대로 배선 바탕면

코팅 후 — 평활면 위에 시드와 배선을 형성

무전해 도금은 바탕면 형상을 따라간다 → 평활한 바탕면 = 균일한 얇은 시드 · 미세 배선 가공 여유

기능화 SQ 기반 습식 시드 공정

소재·원리

1 기판 표면 준비

OH OH OH OH OH OH OH OH OH

세정 · 활성화 (-OH)

2 SQ 도포

딥 · 스핀 · 바 코팅

3 건조 · 경화 (고정)

가교 · 축합으로 막 고정

4 촉매 · 금속이온 담지

Pd 촉매 또는 금속 이온

5 활성화 · 환원

이온 · 촉매

금속 핵

환원제 · 활성화 처리

6 무전해 Cu → 전해 Cu

전해 Cu (두께 · 충전)

기판

■ 기능화 SQ

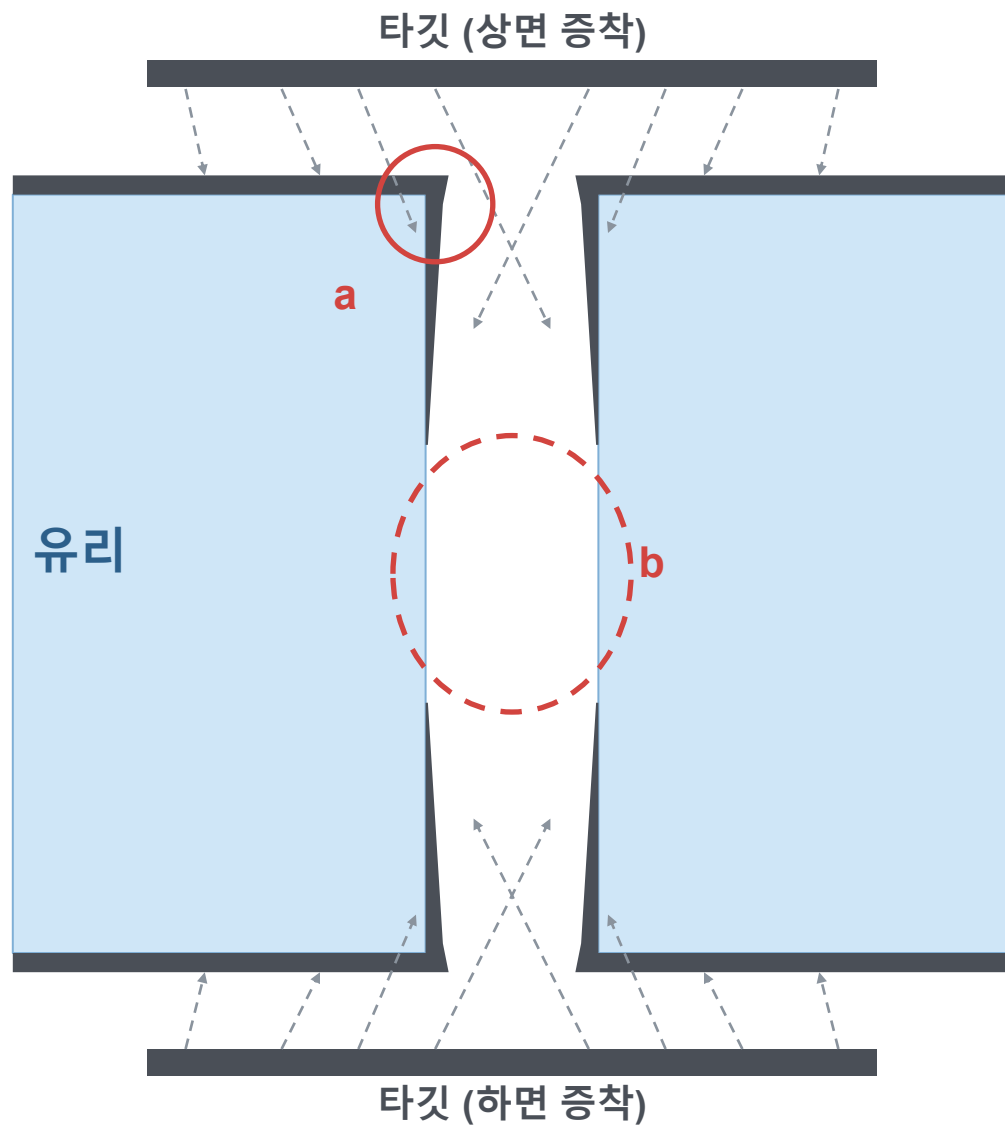
... 촉매 · 금속이온

무전해 Cu 시드

■ 전해 Cu

고종횡비 TGV의 시드 형성

글라스 비아

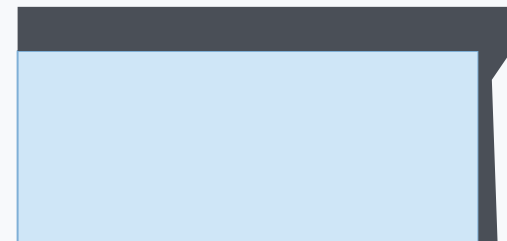


스퍼터 시드막 (Ti/Cu 등)

유리

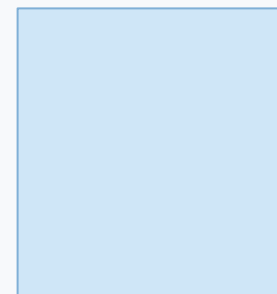
두께 비례 아님

a 입구 · 평면: 두꺼운 증착 · 오버행



평면·입구에 막 집중
입구 오버행 → 내부 차폐

b 비아 중간: 막 얇아짐 · 연속성 부족 가능

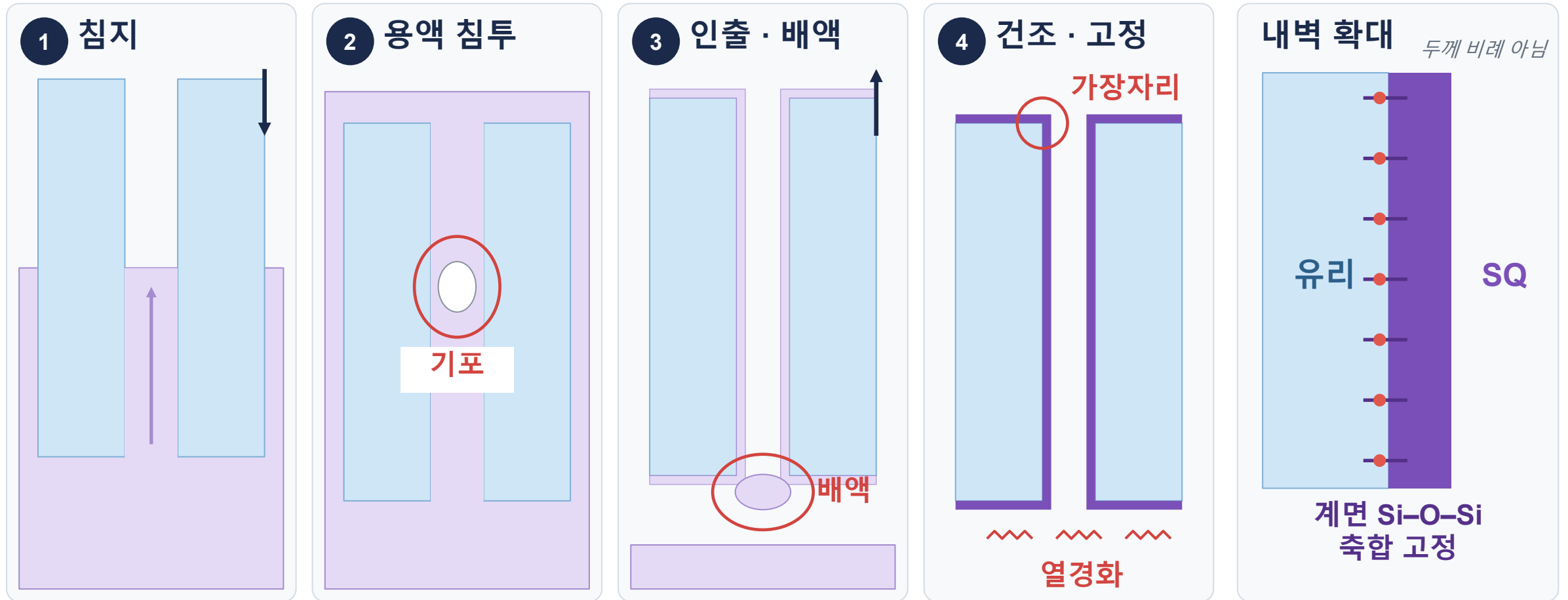


직진성 증착의 도달 한계
양면 증착 시 중앙부가 최소
→ 후속 전해도금 급전 불균일

입구·평면 과증착 + 중앙 결손 → 내벽 시드 불균일

TGV 내벽의 SQ 코팅

글라스 비아



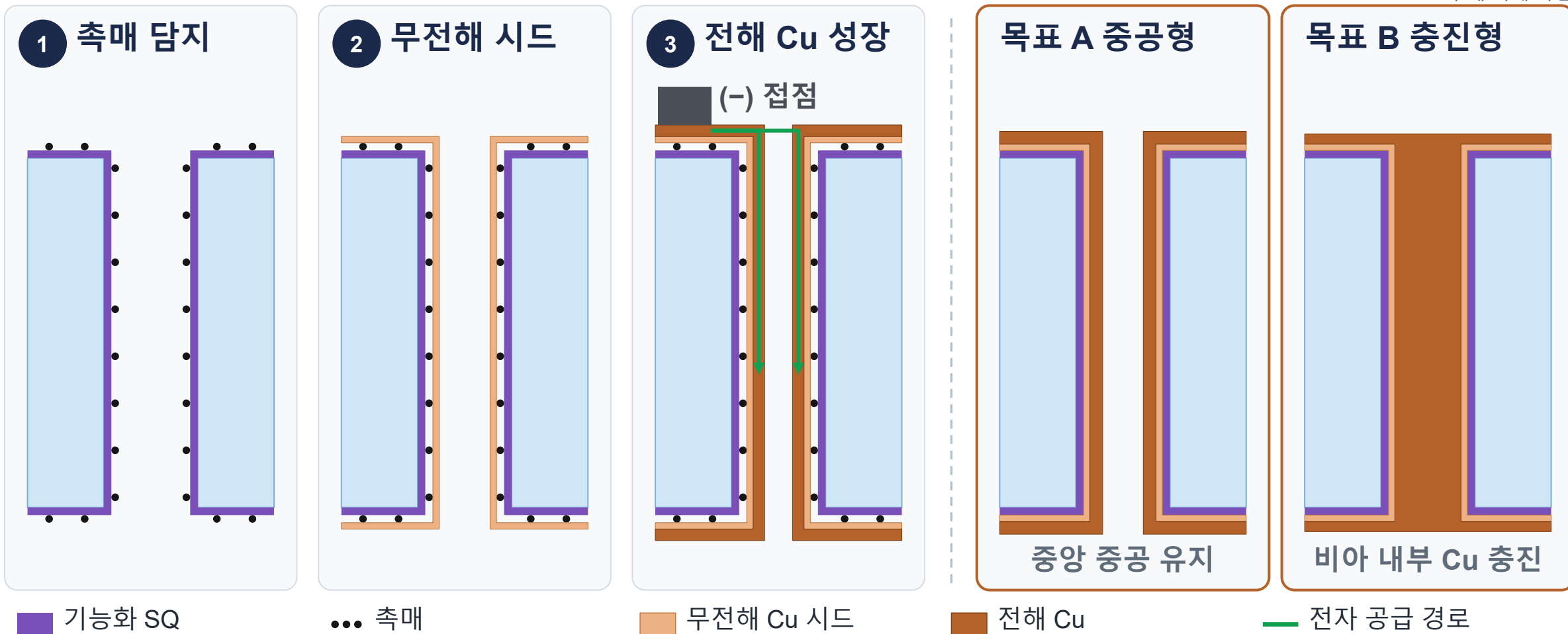
쿨스 공정 구상 (딥코팅)

평면과 내벽을 한 번에 코팅 | 젖음 · 기포 · 배액이 연속성을 결정

TGV 무전해 시드와 전해 구리

글라스 비아

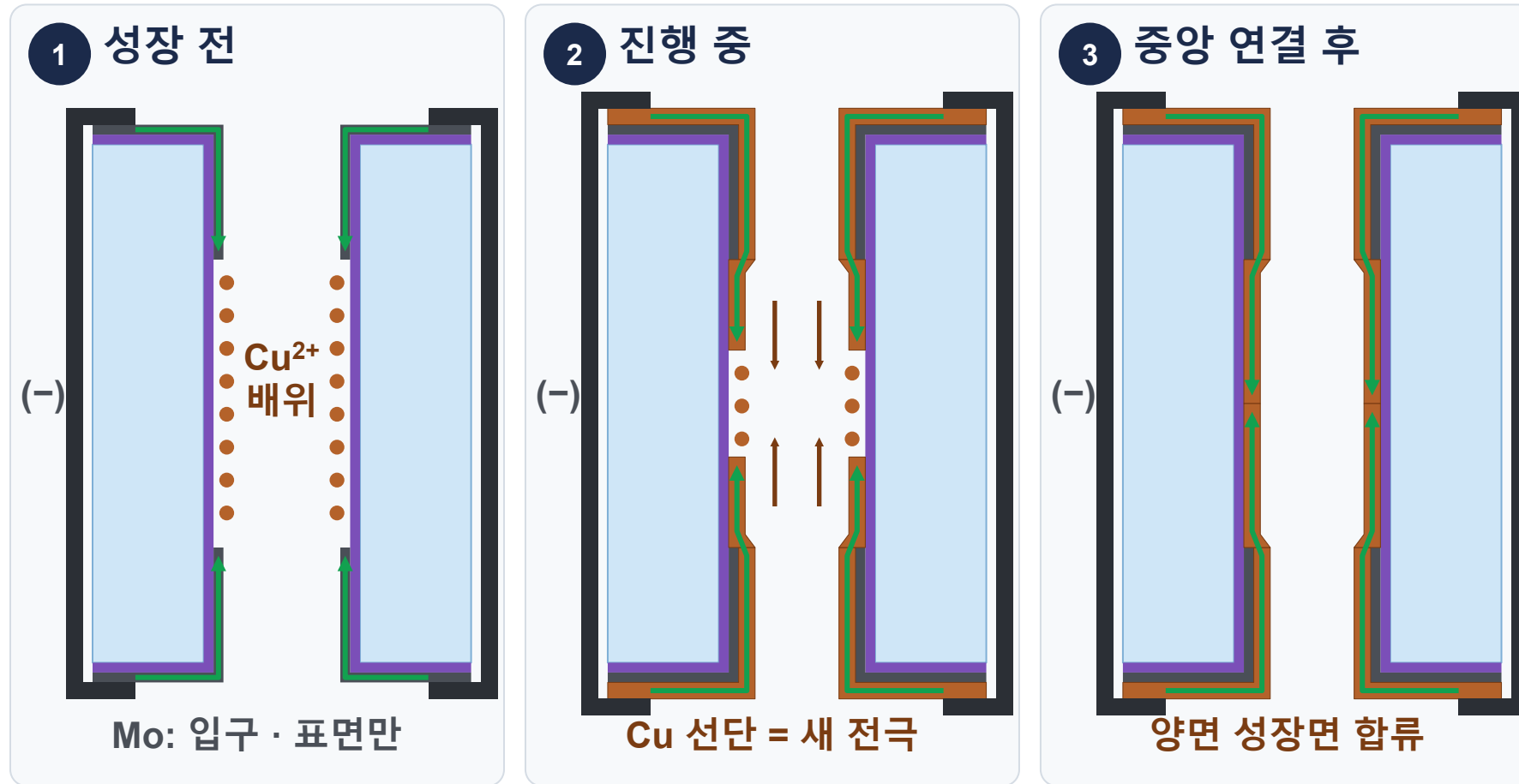
두께 비례 아님



연속 Cu 시드 = 전해도금의 급전 경로 | 전해 조건으로 중공형 · 충전형 선택

부분 스퍼터 전극을 이용한 SPEA

글라스 비아



쿨스 제안 구조 · 개발 경로

부분 전극

스퍼터 Mo를 입구·표면에만 형성

자기 연장

성장한 Cu 선단이 다음 전착의 음극

SQ 역할

선단 전방 Cu^{2+} 배위
 주 전자경로: Mo · 성장 Cu

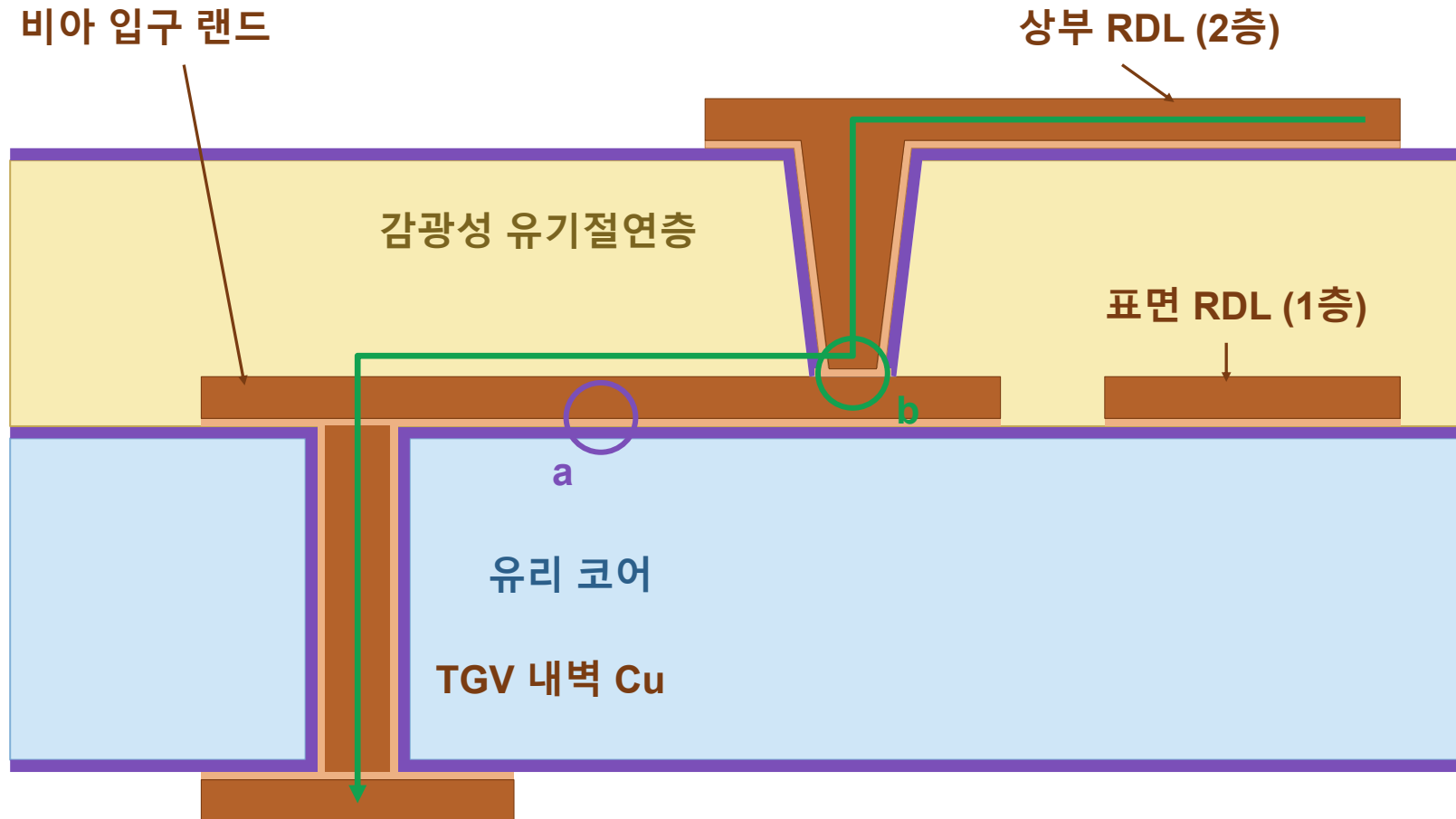
- Mo 부분 전극
- 기능화 SQ
- 전착 Cu
- 전자 공급 경로

전자: 접점 → Mo → 성장한 Cu → 선단 | 연속 스퍼터 시드 없이 내벽 전진

Mo · SQ 적층 순서 비교: 부록 A3
 두께 비례 아님

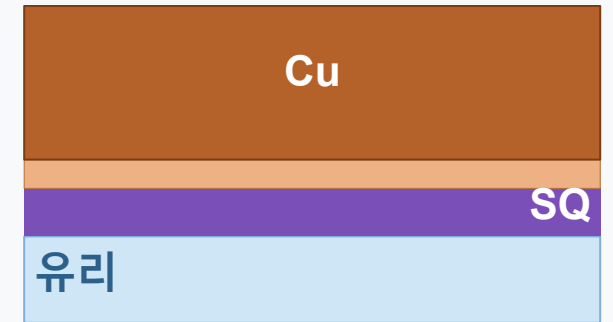
TGV와 표면 배선의 접속

글라스 비아

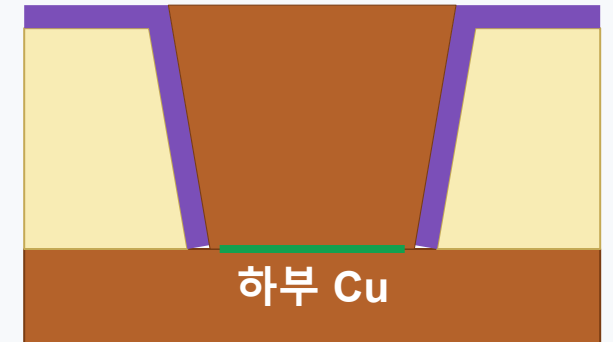


두께 비례 아님

a SQ 잔존 = 절연 계면



b SQ 개구 = Cu-Cu 접촉

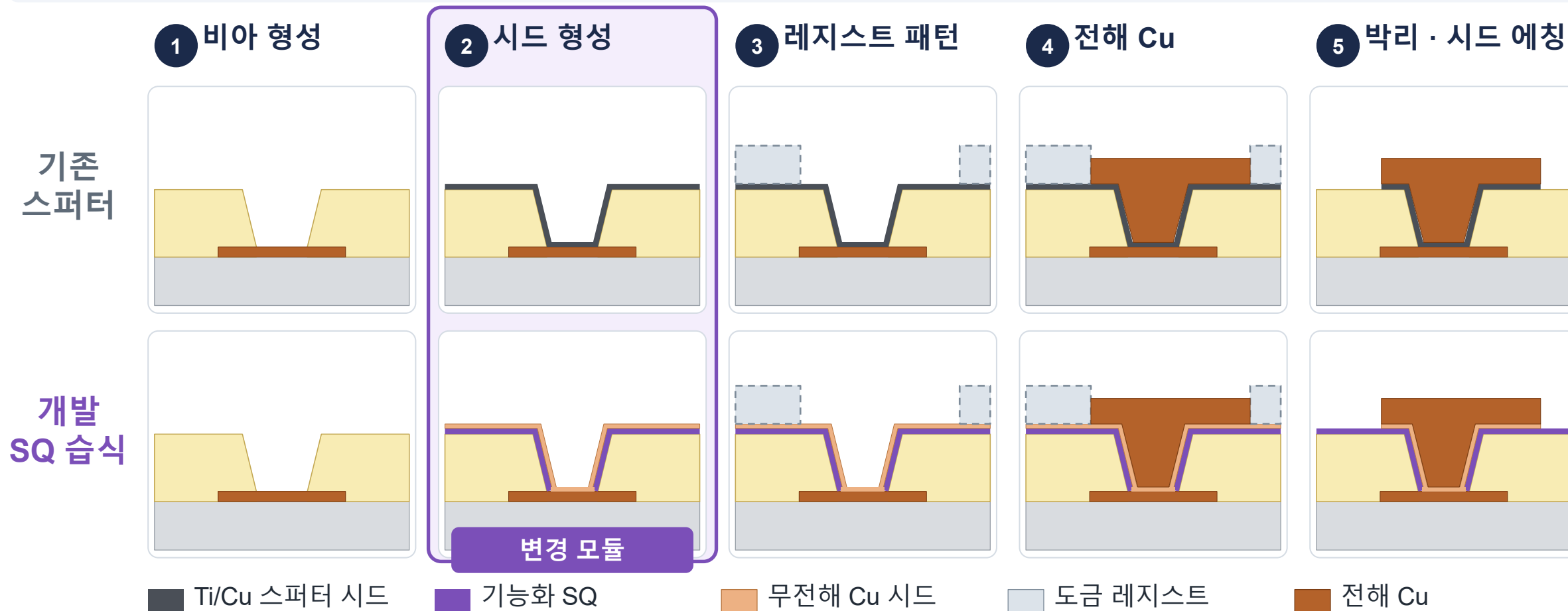


TGV · 랜드 · 배선 = 끊김 없는 Cu 전류 경로 | 층간 접속부만 SQ 개구

RDL 구조와 스퍼터 시드 대체

RDL층

영구층: 감광성 유기절연층 · SQ · 배선 Cu | 임시층: 도금 레지스트 (형틀로만 사용 후 제거)

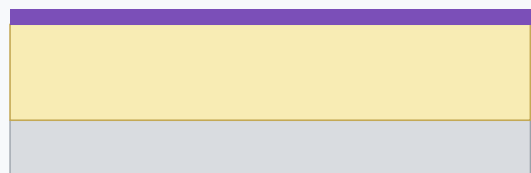


바뀌는 것은 ② 시드 형성 모듈 | ③ 포토 · ④ 전해 · ⑤ 시드 에칭은 같은 자리

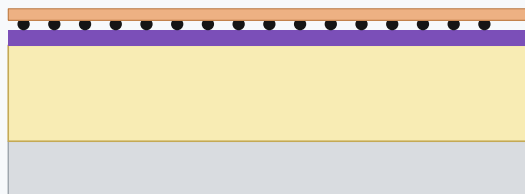
습식 시드를 이용한 SAP 배선

RDL층

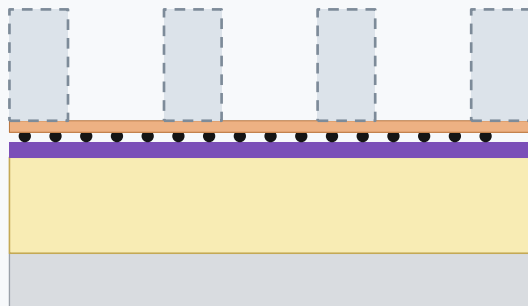
1 절연층 위 SQ 형성



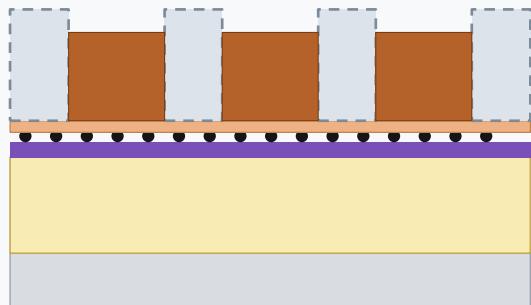
2 촉매 · 전면 무전해 시드



3 도금 레지스트 패턴닝



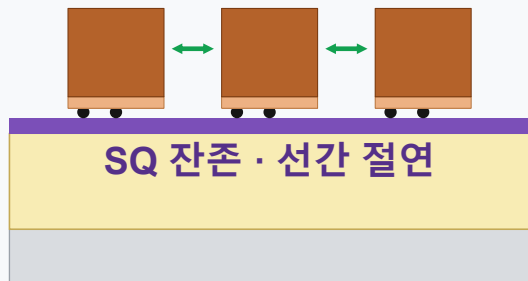
4 개구부 전해 Cu



5 레지스트 제거

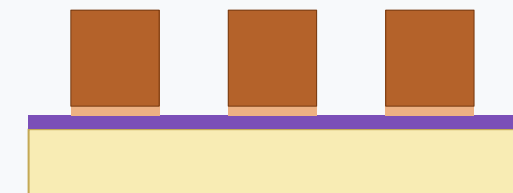


6 노출 시드 에칭



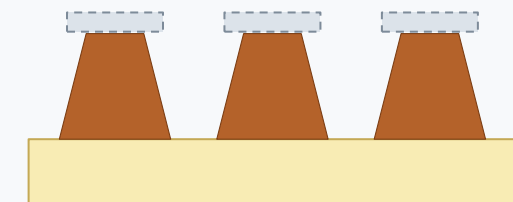
시드 에칭 vs 전면 에칭

A 얇은 시드만 제거



단면 · 선폭 유지

B 두꺼운 Cu 전면 에칭



언더컷 · 선폭 손실

■ 기능화 SQ

... 촉매

■ 무전해 Cu 시드

■ 도금 레지스트

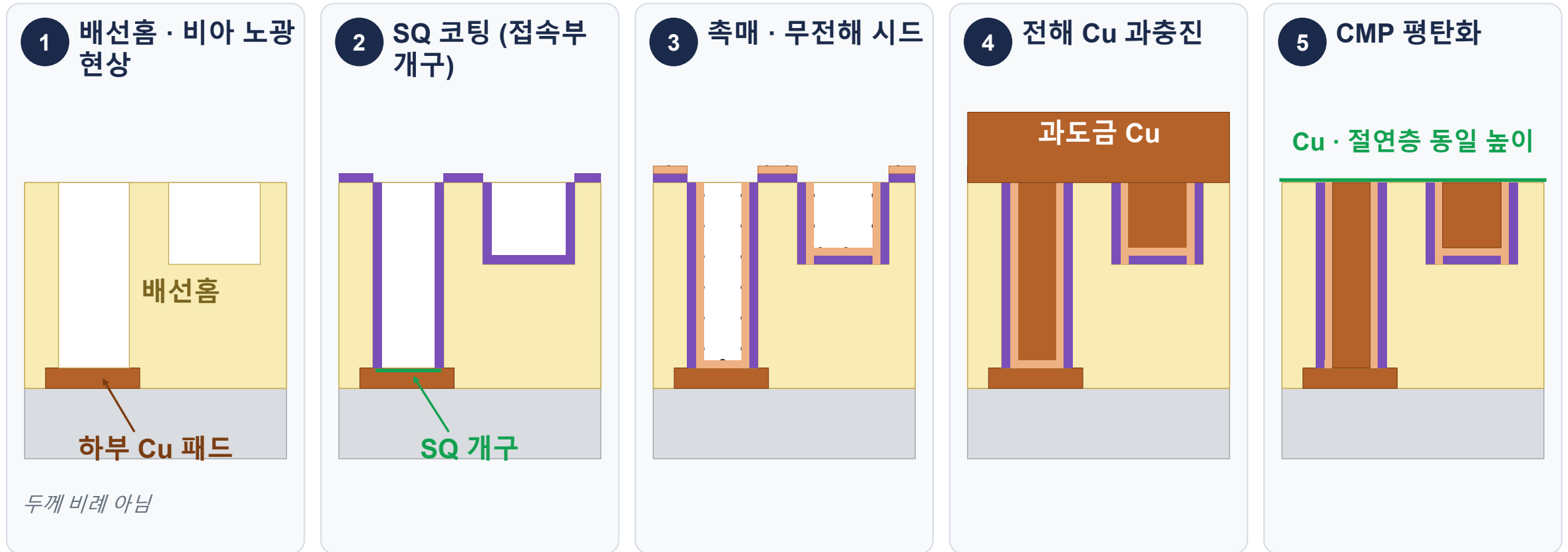
■ 전해 Cu

— 전기적 분리

두께는 전해로, 분리는 얇은 시드 에칭으로 | SQ는 선간 절연 계면으로 잔존

감광성 절연층 매립형 배선

RDL층



⑤ CMP가 제거하는 것: 필드 위 과도금 Cu · 무전해 시드 · SQ → 배선은 홈 안에만 잔존

감광성 유기절연층

기능화 SQ

... 촉매

무전해 Cu 시드

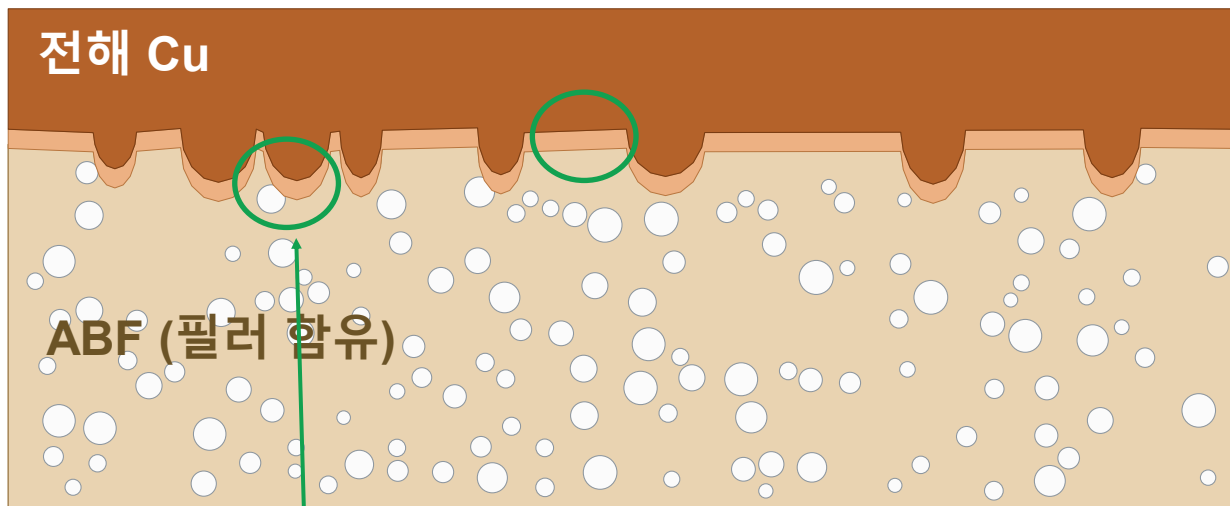
전해 Cu

SAP(16장)은 레지스트 형틀 + 시드 에칭 | 매립형은 절연층 형틀 + CMP — 별개 경로

ABF 조면화와 구리 계면

ABF 배선

두께 비례 아님



요철에 Cu가 물려 밀착 확보

전해 Cu

무전해 Cu 시드

ABF

밀착과 미세화가 같은 면에서 충돌

요철 깊이 $\approx$ 배선 두께 영역

선폭이 작아질수록 요철이 단면 형상을 지배

골 안 시드 잔류

시드 에칭이 골 바닥까지 미치지 못하면 선간 누설 경로

구리 계면 거칠기와 도체 손실

고주파에서 도체 표면 경로가 길어짐

조면화는 밀착을 얻는 수단이지 목적이 아님
→ 밀착을 다른 방식으로 얻으면 요철을 낮출 수 있음

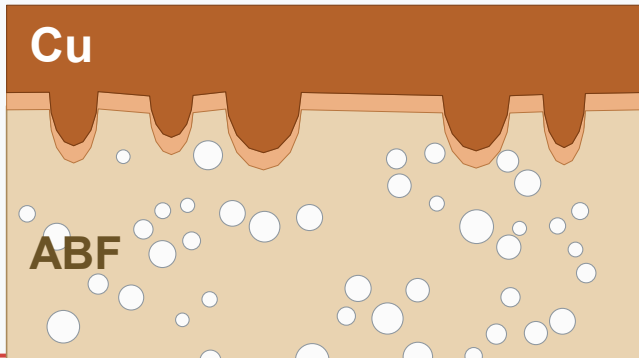
기계적 앵커에 의존하는 밀착 | 미세 배선 · 저손실과 정면으로 상충

조면화 회피와 기존 요철 완화

ABF 배선

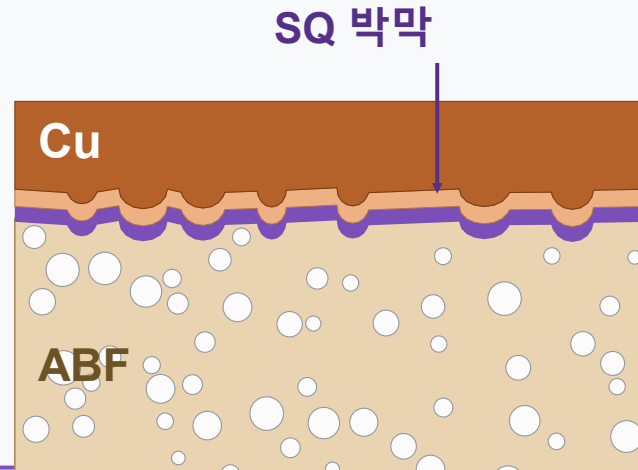
기존 · 조면화된 ABF 위 구리

두께 비례 아님



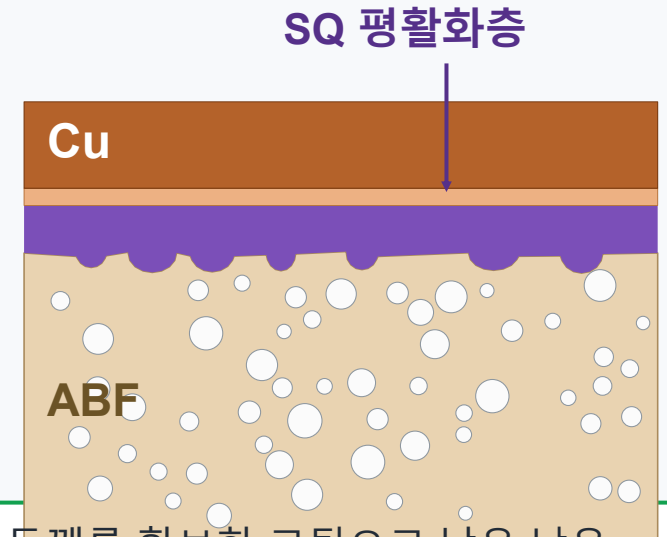
다스마어로 깊은 요철을 만들어 구리를 물림
거칠기를 공정으로 새로 만든다

거칠기를 키우지 않은 ABF + SQ



ABF 본래의 낮은 요철을 그대로 두고
계면 결합으로 밀착 — 거칠기를 키우지 않는다

SQ 평활화로 남은 요철 완화



두께를 확보한 코팅으로 남은 낮은
요철까지
메움 — 이미 있는 거칠기를 완화한다

거칠기를 새로 만들지 않는 효과(가운데)와 이미 있는 요철을 메우는 효과(오른쪽)는 서로 다른 효과이며, 요구 조도와 허용 층 두께로 선택

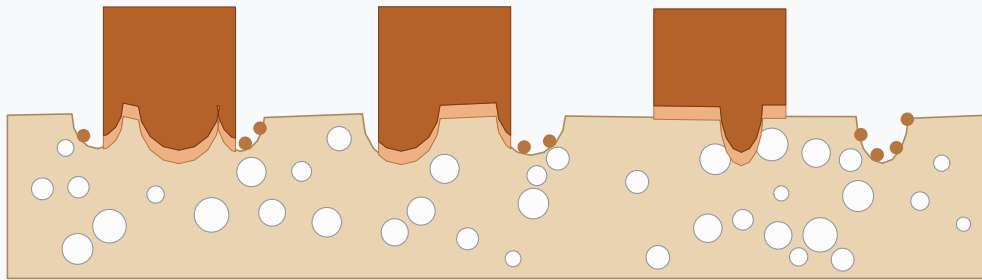
평활한 계면 → 균일한 얇은 시드 → 미세 배선 가공 여유 확보

평활한 계면과 정밀 배선

ABF 배선

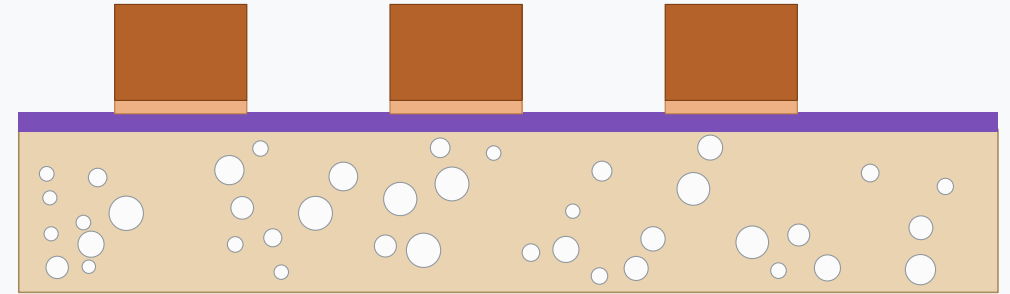
거친 바탕면 위 동일 L/S

두께 비례 아님



골 안 시드 잔류 → 선간 누설 경로

평활 바탕면 위 동일 L/S



시드 에칭 균일 → 선간 절연 확보

항목	거친 바탕면	평활 바탕면
선폭 · 단면 산포	요철이 단면 형상을 좌우	설계 단면 유지
시드 제거 난이도	골 바닥까지 도달 필요	평면 제거로 종료
도체 표면 경로	요철 길이만큼 증가	설계 길이에 근접

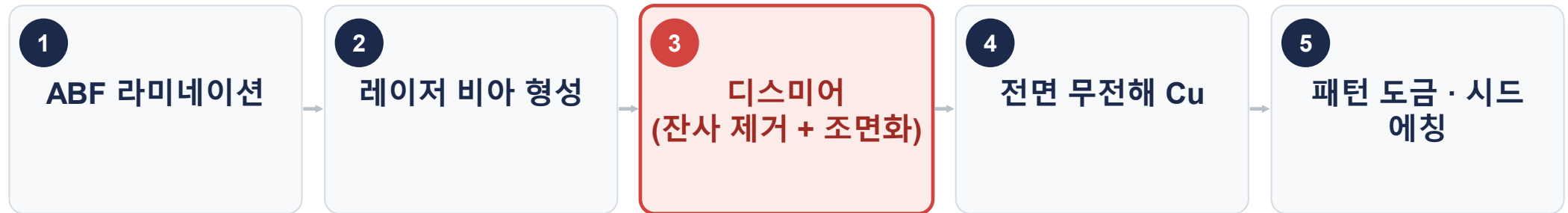
고주파에서는 구리 계면의 거칠기에 따른 도체 손실 감소 가능성 — 유전체 손실계수와는 별개 항목

ABF 빌드업 배선 공정

ABF 배선

과망간산계 디스미어는 잔사 제거와 표면 조면화가 함께 일어나는 처리 — 잔사 제거 단계를 그대로 두면 조면화도 함께 남는다

기존
공정



잔사 제거 조건 변경 + 밀착은 SQ 계면으로

개발
공정



레이저 비아 가공 잔사는 계속 제거하되, 접착을 목적으로 한 거칠기 증가는 억제하고 밀착은 SQ 계면 결합으로 확보

동일 완성 구조 기준의 공정 비교

사업화

두 경로 모두 최종 전해 Cu 배선까지 동일한 완성 구조를 만든다 — 그 사이 단계만 비교



없어지는 단계: 진공 장비 · 펌프다운 · 반송

추가되는 단계: 코팅 · 건조/경화 · 활성화 · 무전해

공통 단계

TGV · RDL

- 스퍼터 시드를 습식 시드로 대체
- 진공 장비 · 펌프다운 · 반송 단계 제거
- 대면적은 욕조 치수에 종속

ABF

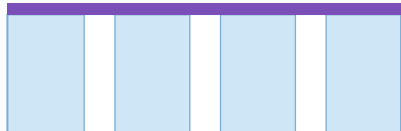
- 접착용 조면화 회피
- 평활 계면에서 미세 배선 대응
- 스퍼터 제거에 따른 절감과는 별개 항목

건조 · 경화 공정이 포함되므로 전 공정을 습식으로만 부르지 않음 | 절감 논리는 없어지는 단계와 추가되는 단계의 비교

첫 실험 구성

사업화

유리 평판 · TGV 쿠폰



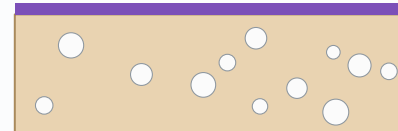
- 평판: SQ 코팅 연속성 · 두께
- 평판: 측매 담지 · 무전해 Cu
- TGV: 내벽 코팅 도달성
- TGV: 전해 충전 형상

유기절연층 패드 · 배선 쿠폰



- 절연층 위 SQ 밀착
- 패턴 도금 후 시드 에칭 여유
- 배선 간 절연 저항
- 하부 패드 접속 저항

무조면화 ABF 시험편



- 저조도 표면 SQ 코팅성
- 무전해 Cu 밀착 (필 시험)
- 표면 조도 측정
- 동일 L/S 배선 단면

시료 구성

SQ 후보 2~3종

기능기 · 가교밀도 · 용제계

기준 시료

기준 스퍼터 시드 / 조면화 ABF

대조 시료

SQ 없이 동일 측매 · 무전해 처리

공통 측정 항목

- 코팅 두께 · 표면 조도
- 측매 담지 · 피복률
- 무전해 Cu 연속성 · 비저항
- 밀착 (테이프 · 필)
- 단면 SEM (평판 · 비아)
- 배선 선평 · 선간 절연

평판에서 판별 → 비아 · ABF로 확장 | 기준 · 대조 시료를 같은 조건에서 동시 진행



주식회사 쿨스

대표이사 조진현

본사 | 경상남도 창원시 의창구 중동북로 23

지사 | 경기도 화성시 동탄구 삼성1로 160

M. 010-2280-9414

E. jhcho@cools.co.kr

H. www.cools.co.kr
