半導体入門講座・第 21 回

パッケージングとテスト

できあがったウェーハは、まだ使えるチップではありません。テストし、切り分け、配線し、パッケージに封じてもう一度テストして、ようやく製品に組み込めます。

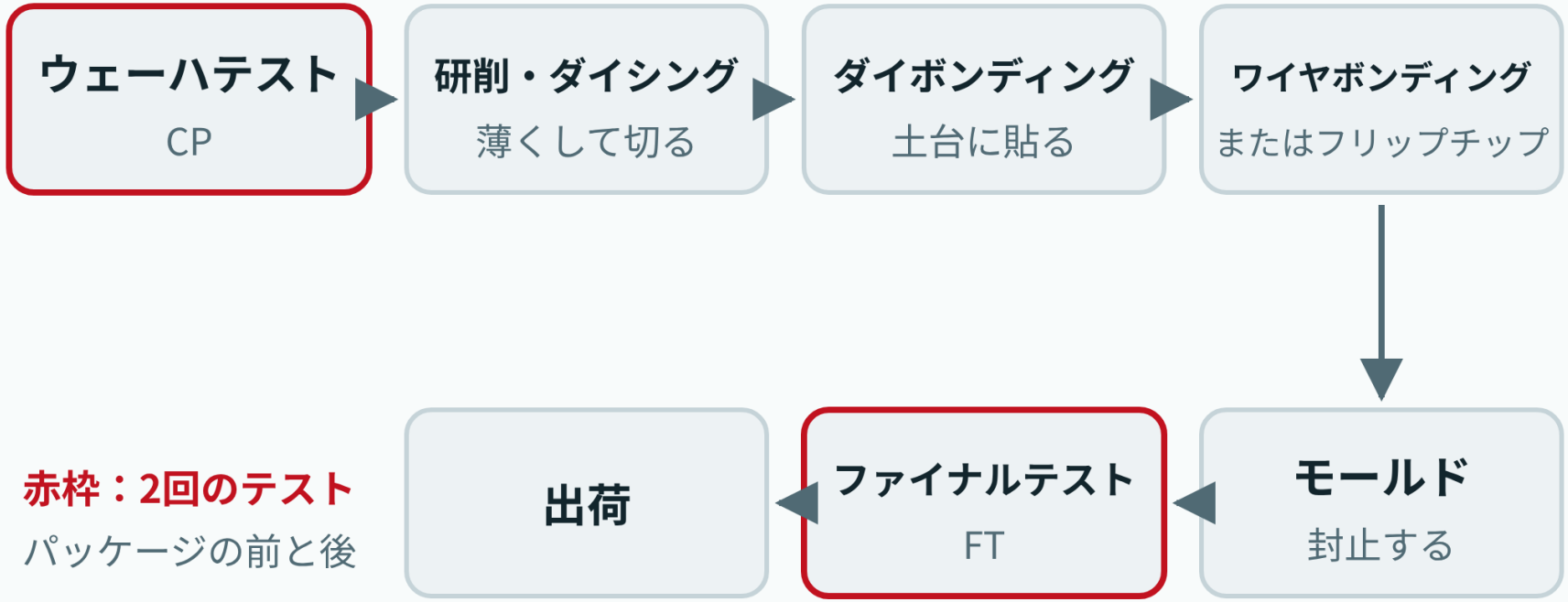
半導体入門講座：チップの一生をたどる
授業や非営利の目的なら無料で使えます。 fab24hr と明記してください。販売することや、自分の作品として使うことはできません。

わかること

1　パッケージがする 3 つの仕事（チップを守る、接点を外につなぐ、熱を逃がす）を説明できる。

2　ウェーハテスト（ CP ）とファイナルテスト（ FT ）がそれぞれいつ行われ、何を見つけるのかを区別できる。

3　ワイヤボンディングとフリップチップのつなぎ方の違いを知り、 BGA や QFN といったパッケージの名前が何を表しているかがわかる。



これらは多くの場合、後工程の工場で行います

ウェーハテストは切り分ける前に行い、不良品はパッケージに入れません。パッケージングでチップが壊れることもあるので、パッケージ後にもう一度テストします。フリップチップでは、チップを裏返して直接はんだ付けするので、固定と接続が一度に済みます。

できたチップは、そのままでは使えない

ウェーハの上でできたチップは、薄くて割れやすい小さなシリコンのかけらです。表面には電気や信号を出し入れする小さな金属の部分があり、接点（業界ではパッド）と呼ばれます。顕微鏡でないとよく見えないほど小さく、チップは動いているあいだ熱も出します。パッケージングは、チップをケースに収めて、３つの仕事を一度にこなします。衝撃やほこり、湿気、汚れ、光を防ぐこと。細かく密に並んだ接点を、外のずっと大きな金属の端子や小さなはんだボールにつなぐこと（変換アダプターのような役目です）。そして熱をケースと端子から回路基板へ逃がすことです。 BGA や QFN といったパッケージの名前は、回路基板の側から見た形を表しています。 2 辺から細いリードが出ているのが SOP 、 4 辺なら QFP 、リードが外に出ず、底の 4 辺に沿って金属のパッドが並ぶのが QFN 、底に小さなはんだボールがぎっしり並ぶのが BGA です。接点の多いチップは 4 辺に並べきれないので、底一面にはんだボールを並べる BGA を使うことが多くなります。

後工程：テスト、切断、固定、配線、封止、再テスト

ウェーハの上に回路をつくる工程を一般に前工程、ウェーハをテストし、切り分け、パッケージに入れて、もう一度テストする工程を後工程と呼びます。よくある順番は、まず 1 個ずつテストし、ウェーハを裏から薄く削って 1 個ずつに切り分け、良品のチップを小さな基板に固定し、細い線で配線し、樹脂で封止して、最後にもう一度テストする、というものです。この仕事は、後工程を専門にする工場に任されることがよくあります。同じ装置と経験で、多くのお客さんの仕事ができるからです。

なぜ 2 回テストするのか

チップが不良かどうかは外から見てもわからず、電気を通して実際に動かすしかないので、 1 個残らずテストします。 1 回目はウェーハテスト（ CP ）です。ウェーハを切る前に、プローブカードに並んだ細い針を、チップの接点の位置に合わせて当てます。ウェーハを押し上げ、針が接点に触れたらさらに少し押して、針先を少しすべらせます。多くのチップの接点はアルミニウムで、表面に電気をほとんど通さないとても薄い酸化膜があり、これを削り破ってはじめて、テスターの電気と信号がチップに入り、結果を読み取れます。一度に何個も当てるカードが多く、終わるとウェーハが次の位置へ動きます。不良を位置ごとにウェーハマップに記録して、パッケージの費用をかけないようにします。 2 回目はファイナルテスト（ FT ）です。切り分け、配線、封止のどれでもチップが壊れることがあり、パッケージに入れてからでないと測れない項目もあるので、もう一度テストします。合格ラインをどこに引くかはトレードオフで、厳しすぎれば良品をはじき、甘すぎれば不良を通してしまいます。

ワイヤボンディングとフリップチップ

ワイヤボンディングは、髪の毛より細い金属線で、チップの 4 辺の接点を 1 本ずつ基板につなぐ方法です。装置が線の先を溶かして小さなボールにして押しつけ、熱、圧力、超音波で接合します。フリップチップは、各接点に小さなバンプをつくり、チップを裏返して、全部を一度にはんだ付けします。面全体に接点を置けて、信号の道のりも短くなります。フリップチップは多くの接点をつなげて速い反面、高価で直しにくいのが難点です。ワイヤボンディングは安くて成熟した技術で、接点の多くないチップでは今もよく使われています。

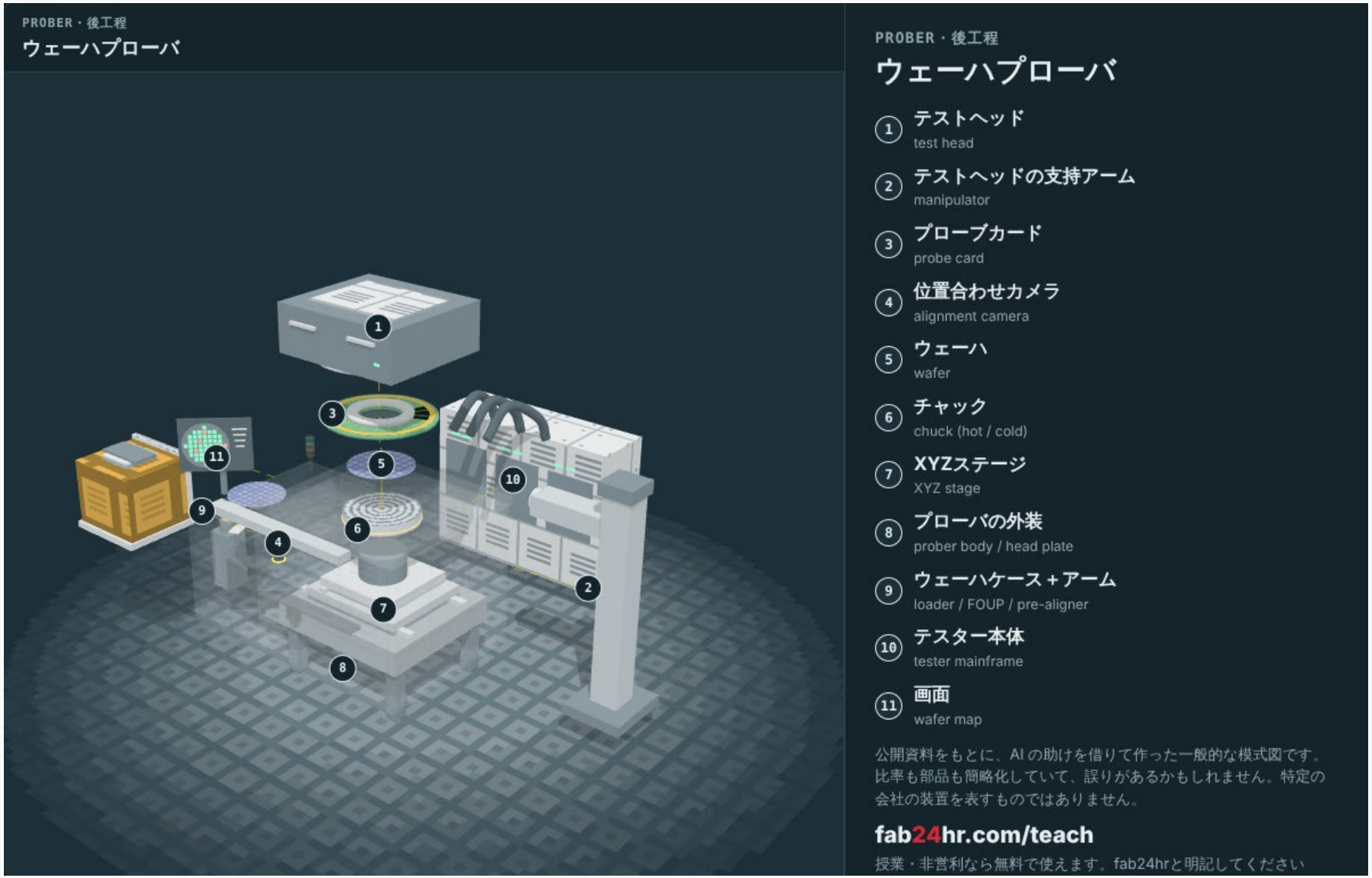
よくある誤解

よく聞く：パッケージはチップを包む殻にすぎず、チップの性能とは関係ない。

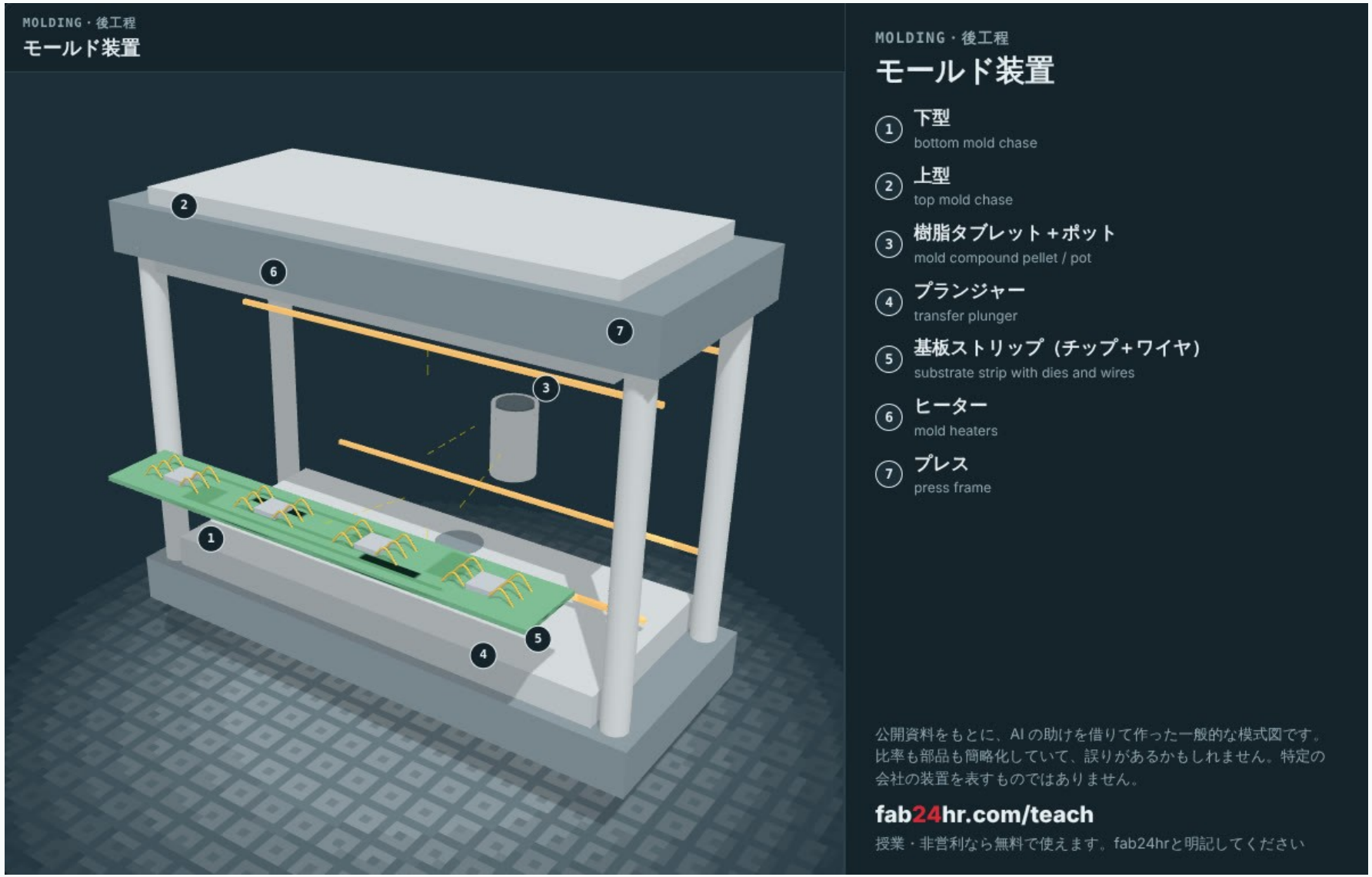
実は：パッケージは熱と信号も受け持ちます。熱を逃がせないと、熱くなりすぎたチップは誤動作し、壊れることもあります。フリップチップは信号の道のりを短くし、複数のチップを近づけて 1 つに収める先端パッケージは、チップの性能を伸ばし続ける方法の 1 つです。

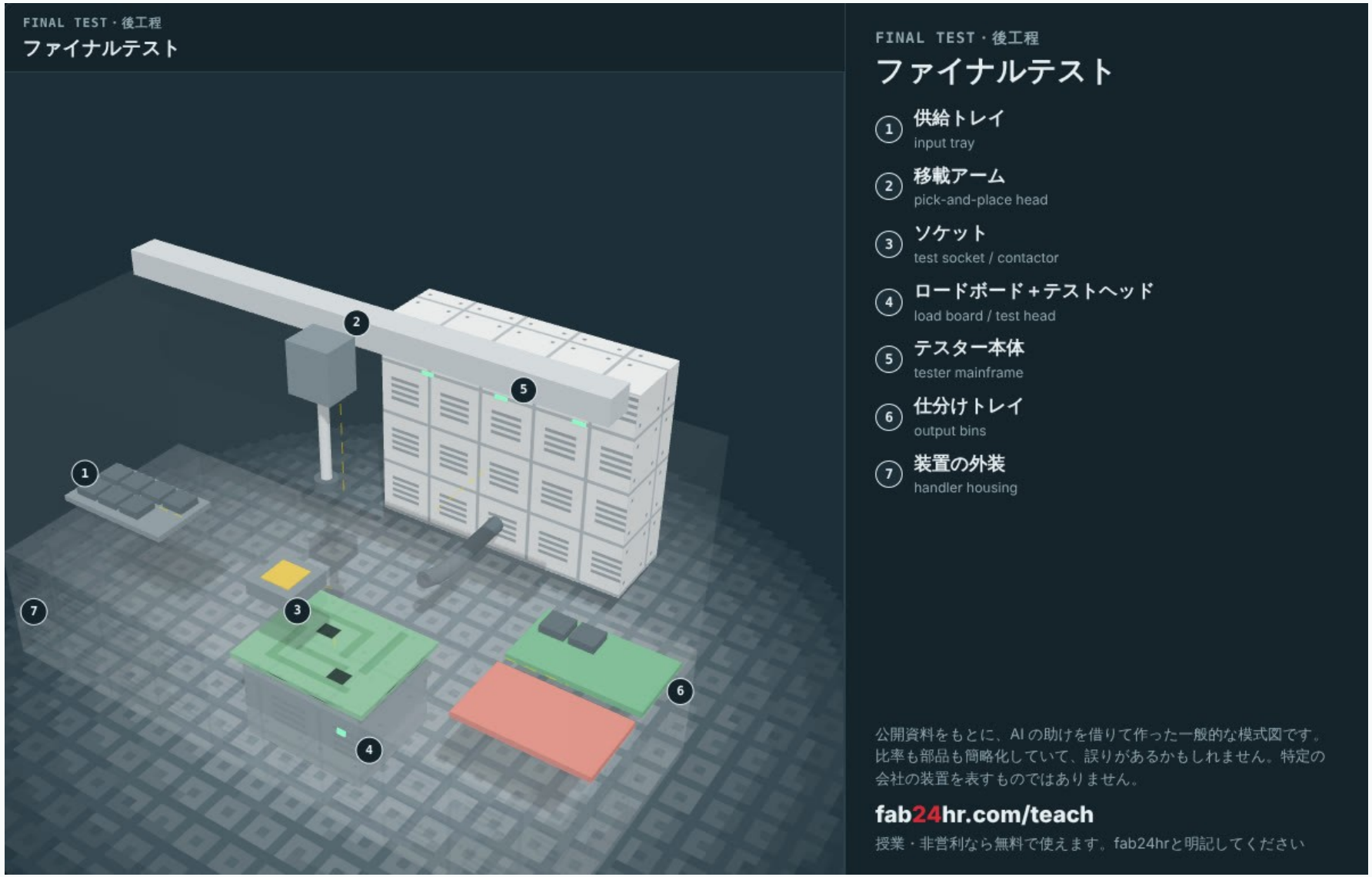
よく聞く：チップは出荷前に 1 個ずつテストしているので、使い始めてすぐ壊れることはない。

実は：テストが問うのは「いま良品かどうか」です。線の接合が少し弱いといった小さな欠陥を抱えたチップは、使い始めは正常でテストにも合格し、数週間から数か月たってから壊れることがあります。これを初期故障と呼びます。車載や医療機器のように壊れたときの損失が大きい製品では、出荷前に高温で電気を流して一定時間動かすバーンインを行い、弱いものを先に取り除くことがよくあります。バーンインのやり方と、信頼性試験との違いは、次の回でくわしく見ます。


PROBER・後工程
ウェーハプローバ
1
3
11
5
10
9
6
4
2
7
8
PROBER・後工程
ウェーハプローバ
1 テストヘッド
test head
2 テストヘッドの支持アーム
manipulator
3 プローブカード
probe card
4 位置合わせカメラ
alignment camera
5 ウェーハ
wafer
6 チャック
chuck (hot / cold)
7 XYZステージ
XYZ stage
8 プローバの外装
prober body / head plate
9 ウェーハケース＋アーム
loader / FOUP / pre-aligner
10 テスター本体
tester mainframe
11 画面
wafer map
公開資料をもとに、AI の助けを借りて作った一般的な模式図です。比率も部品も簡略化していて、誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置を表すものではありません。
fab24hr.com/teach
授業・非営利なら無料で使えます。fab24hrと明記してください

WIRE BONDER・後工程
ワイヤボンダ
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
WIRE BONDER・後工程
ワイヤボンダ
1 金線スプール
wire spool
2 ワイヤクランプ
wire clamp
3 ボンドヘッド（振動子＋キャピラリ）
bond head / transducer / capillary
4 放電電極
EFO wand
5 カメラと光学系
camera / optics
6 XYステージ
XY table
7 チップとリードフレーム
die / leadframe
8 加熱台＋押さえ板
heat block / window clamp
9 供給・収納マガジン
input / output magazines
10 装置の外装
housing
公開資料をもとに、AI の助けを借りて作った一般的な模式図です。比率も部品も簡略化していて、誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置を表すものではありません。
fab24hr.com/teach
授業・非営利なら無料で使えます。fab24hrと明記してください


MOLDING・後工程
モールド装置
2
6
7
3
1
5
4
MOLDING・後工程
モールド装置
1 下型
bottom mold chase
2 上型
top mold chase
3 樹脂タブレット＋ポット
mold compound pellet / pot
4 プランジャー
transfer plunger
5 基板ストリップ（チップ＋ワイヤ）
substrate strip with dies and wires
6 ヒーター
mold heaters
7 プレス
press frame
公開資料をもとに、AI の助けを借りて作った一般的な模式図です。比率も部品も簡略化していて、誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置を表すものではありません。
fab24hr.com/teach
授業・非営利なら無料で使えます。fab24hrと明記してください


FINAL TEST・後工程
ファイナルテスト
1
2
3
4
5
6
7
FINAL TEST・後工程
ファイナルテスト
1 供給トレイ
input tray
2 移載アーム
pick-and-place head
3 ソケット
test socket / contactor
4 ロードボード＋テストヘッド
load board / test head
5 テスター本体
tester mainframe
6 仕分けトレイ
output bins
7 装置の外装
handler housing
公開資料をもとに、AI の助けを借りて作った一般的な模式図です。比率も部品も簡略化していて、誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置を表すものではありません。
fab24hr.com/teach
授業・非営利なら無料で使えます。fab24hrと明記してください

遊ぶ

第 11 章「ボールが浮いた」から：ワイヤのプル試験で 2 本の値が低い

スマホで読み取って、ここから遊ぶ

fab24hr.com/ja/?story=11&utm_source=slides

考える

1　テストを増やすほど信頼性は上がりますが、費用も時間もかかります。補聴器のチップを担当するとしたら、どこまでテストするかをどう決めますか？

2　なぜパッケージングとテストを専門にする会社があるのでしょう？ なぜ全部を半導体工場に任せないのでしょう？

必読

パッケージングとは？ できあがったチップをさらに包む理由

fab24hr.com/ja/blog/what-is-packaging/

チップはどうテストする？ ウェーハテスト（CP）とファイナルテスト（FT）の違い

fab24hr.com/ja/blog/chip-testing/

ワイヤボンディングとは？ チップはどうやって外とつながる？

fab24hr.com/ja/blog/wire-bonding/

関連

チップのパッケージにはどんな形がある？ BGA、QFN という名前の意味

プローブカードとは？ ウェーハ上のチップ 1 個 1 個に、どう電気を通してテストする？

フリップチップとは？ チップをはんだのバンプで外とつなぐしくみ

OSAT とは？ 後工程工場では何をしている？

半導体入門講座：チップの一生をたどる

https://fab24hr.com/ja/learn/packaging-test/

公開されている教科書、業界の標準、大学の講義資料、論文をもとにまとめました。ゲームに出てくる会社、人物、装置の番号、数字は架空のものです。

授業や非営利の目的なら無料で使えます。 fab24hr と明記してください。販売することや、自分の作品として使うことはできません。

公開資料をもとに AI の助けで作った一般的な模式図。誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置ではありません