

Halbleiterproduktions- technik

Prof. Hansch
(TU München)

Kontrollfragen mit Lösung

(WS 2004/2005;
Stand: 13. Januar 2006)

Einleitung

Dieses Dokument enthält alle Kontrollfragen, welche Herr Prof. Hansch gegen Ende des Wintersemesters 2004/2005 auf CD verteilt hat. Die Lösung der meisten Fragen kann man direkt dem Skriptum der Vorlesung entnehmen, einige wenige erforderten etwas mehr Nachdenken.

Während der Vorlesung hat Herr Prof. Hansch immer wieder auf prüfungsrelevante Teile des Skriptums hingewiesen. Diese finden sich nur zum Teil in den Kontrollfragen wieder und wurden dort kursiv gedruckt. Den anderen Teil habe ich am Ende eines jeden Kapitels ergänzt. Die Erfahrung aus der Prüfung hat gelehrt, dass man diese Hinweise nicht überbewerten sollte...

wichtiger Hinweis:

Leider dürfen in der Prüfung keine Hilfsmittel verwendet werden.

Kontakt:

Korrektur- und Verbesserungsvorschläge sind jederzeit herzlich willkommen. Ich bin unter folgender E-Mail-Adresse zu erreichen: *simonblank@gmx.de*

Die jeweils aktuelle Version dieser Formelsammlung und anderes (Formelsammlungen für andere Fächer, Linksammlungen etc.) kann man sich auf meiner Webseite herunterladen:
<http://studium.simonblank.de1.cc>

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Überblick	4
Kapitel 2: Statistik.....	7
Kapitel 3: Produktionsmodelle I	9
Kapitel 4: Produktionsmodelle II	13
Kapitel 5: Halbleitertechnologie	14
Kapitel 6: Fab Phänomene	15
Kapitel 7: Factory Dynamics.....	18
Kapitel 8: Overall Equipment Efficiency.....	24

Kapitel 1: Überblick

1. Was waren typische Merkmale für historische Produktionsgegebenheiten in Europa und USA um 1800?

Europa:

Handwerkszünfte + Hausarbeit: kompliziertes Abhängigkeitssystem von Spezialisten --> Fertigung von Einzelstücken, lange Transportstrecke, keine Kommunikation untereinander
1750: industrielle Revolution (Dampfmaschine und Webstuhl)

Amerika:

vertikale Integration: Gesamtproduktion unter einem Dach (ab 1814)

Grund:

- keine Zwänge durch Separation durch Gilden
- große ungenutzte Wasserkraftvorkommen (in Europa alle Bäche besetzt)
 - vorerst kein Zwang zur (unabhängigen, aber kohleverbrauchenden) Dampfmaschine
 - traditionell fehlende Verkehrswege --> Lokalisierung der Spezialisten an einem Ort
- Massenproduktion durch Austauschteile (z.B. Pistolen für Armee --> "Amerikanisches System")

*Massenproduktion + Austauschteile --> Austauschbare Arbeiter und Manager
Massenproduktion erzeugt Massenverteilungssysteme und umgekehrt:*

- *Eisenbahn verteilt und benötigt Massenartikel*
- *Großhändler, Verkaufshäuser, Versandhäuser*
- *Werbung*
- *Konsortien zur Finanzierung von Großunternehmen*

2. Warum wurden gerade in den USA die ersten Theorien zu Produktionsmodellen entwickelt?

Massenproduktion

--> Massenverteilungssysteme

--> Kostenoptimierung

3. Aufgrund welcher Gegebenheiten wurde in Japan das Just-in time Prinzip entwickelt?

Japan ist eine Insel, die zu 90% aus unwegsamem Gebirge besteht, der Siedlungs- und Wirtschaftsraum ist eng begrenzt.

--> Bestreben die Umwelt zu formen

--> Ressourcendenken

--> enges Sozialgeflecht

--> Japanische Produktionstechniken versuchen die Umgebung so zu gestalten, dass Verschwendung vermieden wird

4. Wann wurde der Transistor erfunden?

- der erste Siliziumtransistor: 1954
- der erste Transistor: 1947

5. Was sind die Grundschrirte der Planartechnologie?

1. Fehlerfreies HL-Material
2. Erzeugung der Maskenschicht (z.B. durch thermische Oxidation)
3. Aufbringen der Photoschicht (μm)
4. Belichtung
5. Entwicklung der Photoschicht
6. Strukturierung der Maskenschicht
7. Durchführung des Prozesses (z.B. Dotierung)
8. Entfernen der Maskenschicht

6. Mit welcher Bauelementtechnologie wird heute das meiste Geld verdient? Was sind die Vorteile dieser Technologie?

- Silizium ist das dominante HL-Material (95%)
- MOSFETs besetzen 85% des Marktes

MOSFETs sind...:

- mit weniger Prozessen herstellbar als Bipolartransistoren (BPT) --> kostengünstigere Herstellung
- bei gleichem Technologiestand deutlich kleiner als BPT --> günstigere Integration
- leichter zu skalieren als BPT --> kostengünstigere Entwicklung neuer Generationen
- in CMOS-Technik die verbrauchsärmsten Schaltungen --> ideal für Höchstintegration und Mobilanwendungen

7. Wie hoch ist im langjährigen Mittel die jährliche Zuwachsrate des Halbleitermarktes? Welches Volumen hat der Halbleitermarkt heute etwa?

- 17%
- Volumen 14 Mrd. DM (weltweit 15 Mrd. US\$; Stand: 1998)

8. Was beschreibt das Mooresche Gesetz? Durch welche 3 Komponenten versucht die Industrie sich daran zu halten?

- beschreibt einen Fahrplan, mit dem eine jährliche Zuwachsrate von 17% geplant wird
- Shrink
- größere Wafer

- *Reinheit verbessern (--> größere Ausbeute; engl.: yield)*

9. Welche der 3 Komponenten erbringt die größte Reduzierung der Herstellungskosten?

Shrink

10. Welchen Zweck erfüllt die so genannte Halbleiter-roadmap?

Anforderungskatalog zur Sicherung des Wachstums

nicht in Kontrollfragenkatalog, aber von Prof. Hansch als wichtig erwähnt:

1. Streit um Röhrenpatente --> Vergleich --> Die Gründung der Firma Bell-Labs war ein strategisches „Muss“ für eine große Firma um nicht einen großen Markt zu verlieren.
2. typische Größe für einen Chip: 1 cm^2
3. Standardpreis für einen Chip: 5 €

Kapitel 2: Statistik

1. Welche Unterarten der Statistik gibt es? Was sind ihre Kennzeichen?

- beschreibende (deskriptive) Statistik: Datenmenge ist vollständig bekannt bzw. erfasst --> Aussagen über mögliche zukünftige Stichproben aus dieser Grundgesamtheit
- schließende (induktive) Statistik: Grundgesamtheit ist nicht bekannt. Mit Hilfe von Stichproben soll auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit geschlossen werden.

2. Warum wird in der beschreibenden Statistik eine Klassenbildung vorgenommen?

Um Ergebnisse übersichtlicher darzustellen

Aus einer Urliste sind die Beobachtungswerte meist schlecht zu überblicken, deswegen werden die Messwerte in sogenannte Klassen zusammengefasst

3. Welche Möglichkeiten zur graphischen Darstellung von Häufigkeitsverteilungen gibt es?

Säulendiagramm, Balkendiagramm, Kreisdiagramm, Histogramm

4. Mit welchen Parametern kann eine Häufigkeitsverteilung beschrieben werden?

Parameter zur Lage, Streuung und Form der Verteilung

5. Was unterscheidet die Dichtefunktion von der Verteilungsfunktion einer Häufigkeitsverteilung?

Die Dichtefunktion ist die Verteilung einer stetigen Zufallsvariable. Die Verteilungsfunktion ist das Integral der Dichtefunktion.

6. Wie können Häufigkeitsverteilungen standardisiert werden?

Von jedem Stichprobenwert wird der Mittelwert (aller Werte) subtrahiert und durch die Standardabweichung dividiert --> Skalentransformation

Für eine standardisierte Häufigkeitsverteilung ist der Mittelwert $\bar{z}=0$ und die Varianz $s^2:=1$ (und somit auch die Standardabweichung $s=1$)

7. Was unterscheidet die Normalverteilung von der Standard-Normalverteilung?

Die Standard-Normalverteilung ist die auf dem Erwartungswert $\mu=0$ und die Varianz $s^2=1$ normierte Normalverteilung. Bei der Normalverteilung können der Erwartungswert und die Varianz einen beliebigen Wert annehmen.

8. Welchen Vorteil bietet die Poissonverteilung gegenüber der Normalverteilung?

Die Poissonverteilung wird verwendet, wenn die Wahrscheinlichkeit eines Treffers sehr klein ist und das Experiment sehr oft durchgeführt wird.

Sie kann im Gegensatz zur Normalverteilung angewandt werden, wenn die Standardabweichung nicht bekannt ist. Schätzung: $s = \sqrt{\mu}$.

Beispiele für Poisson-Verteilung¹:

- Ein Kaufhaus wird an einem Samstag durchschnittlich alle 10 Sekunden von einem Kunden betreten. $P_6(9)$ gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass in der nächsten Minute genau 9 Kunden das Kaufhaus betreten.
- In der Natur verhält sich zum Beispiel der radioaktive Zerfall nach der Poisson-Statistik.
- Die Zahl der Spargelköpfe in einer Dose Spargelabschnitte ist annähernd poissonverteilt mit dem Parameter 10, wenn im Durchschnitt einer Dose 10 Spargelköpfe sind.

¹ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Poisson-Verteilung>

Kapitel 3: Produktionsmodelle I

1. Nennen Sie einige typische amerikanische Produktionsmodelle:

- Economic Order Quantity Modell (EOQ-Modell)
- Dynamic Lot Sizing Model (Dynamisches Losgrößen-Modell)
- Zeitungsverkäufer-Modell (engl.: News Vendor Model)
- Base-stock Model (Lagergrundbestands-Modell)
- Q(r)-Modell

2. Welche Modelle gehen von deterministischem Bedarf, welche von statistischem Bedarf aus?

statistisch:

- Zeitungsverkäufer-Modell
- Base-stock Model
- Q(r)-Modell

deterministisch:

- Economic Order Quantity Model
- Dynamic Lot Sizing Model

3. Welche Kosten werden in den Lagerhaltungsmodellen üblicherweise berücksichtigt?

- setup-Kosten
- Herstellungskosten
- Lagerkosten
- Gewinnausfallskosten
- Transportkosten

In vielen Fällen werden nur die setup-Kosten und Lagerkosten betrachtet.

4. Was versteht man unter der "economic order quantity"?

EOQ ist der Punkt in der Kostenformel des EOQ-Modelles, wo die Kosten für Lagerhaltung und setup gleich groß sind und die Gesamtkosten ein Minimum.

Dabei werden folgende Annahmen gemacht:

- Nachfrage und Abnahme sind konstant
- die Produktionskapazität ist beliebig (in Realität: ausreichend) hoch
- die setup-Kosten sind unabhängig von der Produktionsmenge (entspricht der Realität in einer Halbleiter-Fab)
- Sofortlieferung (Herstellung)
- kein Stock-out

Aufgrund extrem hoher Herstellungskosten ist die Kostenoptimierung vs. Lager in der Halbleiterproduktion nicht von großer Relevanz

Das Modell ist wegen der Annahmen 1) beliebige Losgrößen in Nullzeit zu produzieren und 2) konstante Abnahme, manchmal nicht realistisch für einen Produzenten.

Umgekehrt sind diese Annahmen aber realistisch für einen Einkäufer einer Produktion:

1) beliebige Bestellmengen und 2) konstante Anlieferung für die eigene Produktion

5. Was unterscheidet das EOQ-Modell vom Dynamischen-Losgrößen-Modell?

Das EOQ-Modell beschäftigt sich mit der Frage, wann welche vorab festgelegten Losgrößen produziert werden. Das Dynamischen-Losgrößen-Modell versucht die Losgröße selbst zu optimieren.

6. Welchem Sachverhalt wollen die statistischen Produktionsmodelle gerecht werden?

„Wieviel Vorrat muss man haben, um bei statistischen Nachfrageschwankungen einen möglichst optimalen Gewinn zu erzielen?“

7. Nach welchem mathematischen Ablaufplan werden statistische Modelle durchgerechnet?

Allgemein: Aufstellen einer Kostenformel $Y(Q)$ --> Minimum durch Nullsetzen und Ableiten.

In statistischen Modellen wird der (diskrete) Erwartungswert der Kostenformel $Y(Q)$ (Aufsummierung aller diskreten Werte mal ihrer Wahrscheinlichkeiten) und daraus die Verteilungsfunktion der Normalverteilung bestimmt --> Nachschlagen in Tabellen...

8. Welche Angaben aus der Statistik braucht man, um konkret eine Berechnung in statistischen Modellen durchzuführen?

Erwartungswert und Standardabweichung.

9. Was sind die Merkmale des Zeitungsverkäufermodelles?

- statistisch vermuteter Bedarf
- einmalige Produktion einer beliebigen Losgröße (z.B. Tageszeitung, T-Shirts für ein bestimmtes Konzert,...)
- keine Lagerhaltung --> Über- und Unterproduktion sind Verluste

Der Service-Level gibt an, wie viel Prozent der Nachfrage aus dem Lager bedient werden können

10. Welches Ziele verfolgt das Base Stock Modell?

- Service-Level (Der Service-Level gibt an, wie viel Prozent der Nachfrage aus dem Lager bedient werden können):
 - wird vom Management meist auf Gefühlsbasis festgelegt
 - aus dem festgelegten Service-Level kann bei gekanntem statistischem Bedarf ein notwendiger Grundlagerbestand R berechnet werden
 - die Kosten sind nicht notwendigerweise ein Minimum
- Kostenminimierung:
 - Aufstellung einer Kostenfunktion Y aus den Kosten für Lagerhaltung und Lieferverzug (Strafzahlungen, beschädigte Firmenreputation etc.)
 - bei statistisch bekanntem Bedarf wird die Kostenfunktion minimiert und der dazu notwendige Lagergrundbestand R ermittelt
 - Das Minimum der Kostenfunktion Y muss nicht einem hohem Service-Level $S(R)$ entsprechen

11. Was sind die Merkmale des Base Stock Modelles?

- statistisch vermuteter Bedarf
- Produktion zur Lagerauffüllung bei Bestellung

(„welches ist der gewinnbringende Mindestlagerbestand?“)

12. Welche statistischen Verteilungsfunktionen werden in der Regel im Base-Stock-Modell verwendet?

Normalverteilung ($\mu \geq 5$), sonst Poissonverteilung

13. Was unterscheidet das Q(r)-Modell vom Base Stock Modell?

Bei Base Stock Modell: Produktion zur Lagerauffüllung bei Bestellung

Bei Q(r)-Modell: Produktion zur Lagerauffüllung beim vermuteten Kostenminimum

14. Was ist eine typische Situation für die Anwendung des Q(r)-Modelles?

Beispiel: Nachbestellung verursacht unabhängig von Bestellmenge erhebliche Transportkosten

nicht in Kontrollfragenkatalog, aber von Prof. Hansch als wichtig erwähnt:

1. Wie viele Parameter braucht man, um die Normalverteilung zu berechnen?

Zwei Parameter: Standardabweichung s und Erwartungswert μ (bei Poissonverteilung gilt:

$$s = \sqrt{\mu}$$

2. Erkenntnisse aus Base Stock Modell:

- Bei bekanntem statistischem Bedarf kann ein Service-Level über einen Grundbestand R eingestellt werden
- Der Wert des Servicelevels kann entweder (aus dem Bauch) vorgegeben oder aus einer Kostenminimierung berechnet werden. Je höher der Servicelevel, desto höher die Kosten
- Im Base Stock Modell sind die Verzugskosten so niedrig, dass sie nicht ins Gewicht fallen (niedriger Lagerbestand R und niedriger Service-Level) oder so hoch, dass sie gar nicht auftreten dürfen (hoher Lagerbestand R)
- *Der Grundlagerbestand muss umso größer sein, je größer der erwartete Bedarf μ und dessen Streuung s^2 ist*
- Das Base Stock Modell mit der sofortigen Nachbestellung eines verbrauchten Artikels führt in hintereinandergeschalteten Produktionseinheiten zum KANBAN-System --> Just in Time Produktion

3. Erkenntnisse aus dem Q(r)-Modell:

- *Das Q(r)-Modell versucht gleichzeitig die Bestellmenge Q und den Bestellbestand r zur Erreichung niedrigster Kosten zu optimieren. Das Q(r)-Modell vereinigt daher die Erkenntnisse aus dem EOQ-Modell und dem base-stock Modell.*
- *Es gibt einen Kompromiss zwischen Bestellhäufigkeit und Lagerbestand. Je häufiger bestellt wird, desto kleiner kann der Lagerbestand sein.*
- *Es gibt einen Kompromiss zwischen Service-Level und Lagerbestand. Je höher der Service-Level gesetzt wird, desto höher muss der Lagerbestand sein*
- *Es gibt einen Kompromiss zwischen Variabilität und Lagerbestand. Je höher die Schwankungen der Bestellungen sind (Menge, Zeit), desto höher muss der Lagerbestand sein.*
- *Alle Kompromisse enthalten den Lagerbestand als Optimierungsgröße. Der Ansatz, diese Kompromisse zu umgehen, indem man den Lagerbestand eliminiert, führt zum Just-in time Prinzip. Just-in time (= Null Lager) ist aber ein Ideal. Im Q(r)-Modell werden daher realitätsnahe Abhängigkeiten dargestellt.*

Kapitel 4: Produktionsmodelle II

1. Was unterscheidet amerikanische Produktionsmodelle vom japanischen Just-in time?

Amerikanische Produktionstechniken versuchen vorrangig die Losgröße zu optimieren, die japanischen die Umgebung so zu gestalten, dass Verschwendung (Ressourcen, Qualität,...) vermieden wird.

2. Nennen Sie einige typische Merkmale des JIT

- auf dezentralisierter Planung und Steuerung beruhende Produktion, die in allen Fertigungsbereichen und Produktionsebenen auf Abruf erfolgt.
- durch kurzfristige Kapazitäts- und Materialplanung wird versucht, die Lagerbestände niedrig zu halten, und die Zeitspanne der gesamten Fertigung eines Produkts zu verkürzen.

3. Wie ist in der Praxis das JIT in einer Fertigungslinie realisiert?

- Verringerung der klassischen setup-Kosten gegen Null
- Verringerung der Materialbestände im Produktionsfluss
- extrem kontinuierlicher Produktionsfluss
- Verringerung der Losgrößen
- Qualitätskontrolle
- Arbeitertraining
- Betrachtung der Gesamtkette Zulieferer-Transport-Hersteller-Kunde

4. Wie funktioniert das Kanban-System?

Die Steuerung des Materialflusses in JIT erfolgt mit einem Kartensystem, dem KANBAN:
Jede Station hat ein Eingangs- und Ausgangslager.

Im Eingangslager sind die benötigten Rohstoffe mit ihren Karten, den Transportkanbans. Im Ausgangslager befinden sich die produzierten Teile mit ähnlichen Karten, den Produktionskanbans. Zwischen den Stationen sorgt ein Läufer für Nachschub. Durch umhängen der Karten wird die Produktion gesteuert.

5. Was unterscheidet ein push-System von einem pull-System?

Pull (KANBAN): durch Herstellung des Endproduktes werden die Vorprodukte nachgezogen
Push (westliches Produktionssystem): Die Herstellung eines Einzelproduktes und Weiterlieferung treibt die Weiterverarbeitung

Kapitel 5: Halbleitertechnologie

zu diesem Kapitel gibt es momentan (WS 2004 / 2005) noch keine Vorbereitungsfragen.
Folgende Punkte wurden von Prof. Hansch als wichtig für die Prüfung erwähnt:

1. Technologieüberblick und Prozesslauf:

1. Herstellung von Hochreinem Silizium
2. Einkristallherstellung
3. Heraussägen von Si-Scheiben
4. Polieren
5. Si-Epitaxie
6. Wiederholt: Photolack – Belichtung – Entwicklung – Ätzen
7. jeweils nach Punkt 6: Thermische Oxydation – Abscheidung (Isolatoren, Metalle) – Implantation
8. Testen
9. Leadframe
10. Bonden
11. Packaging

2. Grundprozess der Planartechnologie

1. Fehlerfreies HL-Material
2. Erzeugung einer Maskenschicht (z.B.: thermische Oxidation)
3. Aufbringen der Photoschicht
4. Belichtung (mit Maske)
5. Entwickeln der Photoschicht
6. Strukturierung der Maskenschicht
7. Prozess (z.B. Dotierung, Epitaxie, Diffusion...)
8. Entfernen der Maskenschicht

3. Schädigung von HL-Bauelementen durch Partikelverschmutzungen

- Tödliche Partikelgröße: $d > 1/2$ der Minimalstruktur --> Sofortausfall
- Störende Partikelgröße: $d > 1/5$ der Minimalstruktur --> Spätausfall (Zuverlässigkeit)

Die Anzahl der funktionierenden Chips kann aus der Verteilung der Defekte berechnet werden

4. Thermische Oxidation

SiO_2 ist das „natürliche“ Oxid des Si und weist in seinem el. Verhalten die besten Eigenschaften als Isolator im Gesamtprozess mit Si auf.

Grundlegender Herstellungsprozess: in einem von außen beheizten Quarzrohr (ca. 1000°C) werden die gereinigten Si-Wafer einer O_2 und H_2O -Atmosphäre ausgesetzt --> Diffusion

Kapitel 6: Fab Phänomene

1. In welche Spezialeinheiten kann ein "All-in-one-House"-Halbleiterhersteller untergliedert werden?

- ein Gelände
- ein oder mehrere Produktionshallen
- Versorgungseinrichtungen
- Bürogebäude
- Assoziierte Gebäude (ausgelagerte Prozesse, CMP, backend)

2. Nennen Sie einige der technologischen Prozesse zur Chip-Herstellung

1. Reinigung + Si-Epitaxie + Isolatoroxyd
2. Belichten + Oxydätzen
3. Gate-Oxyd
4. Si-Abscheidung + Belichten + Si-Ätzen
5. Implantation + Anneal
6. Reinigen + Isolation + Belichten + Nitrid-Ätzen
7. Reinigen + Metallisierung + Belichtung + Metall-Ätzen

3. Warum müssen Halbleiterchips in besonderen Reinräumen hergestellt werden?

Da schon kleinste Partikel einen ganzen Chip zerstören können (siehe „Schädigung von HL-Bauelementen durch Partikelverschmutzungen“, vorheriges Kapitel)

Aufgrund der Kleinheit der Strukturen sind heute extrem hohe Anforderungen an die Reinheit der Prozessatmosphären und Materialien zu stellen.

4. Welchen Kostenanteil etwa haben die Prozessgeräte an den Gesamtkosten einer Fab?

70%

5. Was versteht man unter einem cost-center?

Planung: Wie viele Geräte werden benötigt, wie sollen die Geräte aufgestellt werden?

6. Nach welchen Gesichtspunkten könnten die Anlagengruppen in einer FAB aufgestellt sein?

- Workflow: Aufstellung unterschiedlicher Geräte nach Prozessfluss
- Farm Layout: Aufstellung gleicher Gerät ein Gruppen (z.B. Ofenprozesse, Implantation, Nasschemie...)

7. Was unterscheidet ein work-flow layout von einem farm layout?

(siehe Punkt 6)

8. Was ist eine "bay" in einer Fab?

in einer Reihe aufgestellte Prozessgruppe

9. Die Halbleiterproduktion ist in 4 Bereiche organisiert. Nennen Sie diese und typische Aufgabenbereiche

4 Bereiche:

- Frondend und Backend Depts. für Technology & Production
- Support Depts.
- Prozess Technology & Integration

10. Nach welchem Zeitplan läuft die Produktion ab?

Continuous shift system („Konti-Schicht“): 6 Tage Arbeit, 4 Tage frei für Arbeiter
Eine Fabrik arbeitet 24 h am Tag, 365 Tage im Jahr

11. Warum wird in der Produktionshalle ein Transportsystem immer wichtiger?

- (teilweise) Wafer sind wegen zunehmender Komplexität und Vergrößerung zunehmend empfindlicher gegenüber Erschütterungen, die beispielsweise beim Tragen und Absetzen der Lose durch Mitarbeiter entstehen können
- manuelles Transportieren und Beladen der Maschinen ist zeitaufwendig und auch fehleranfällig (es werden in einer Fab Wafer mit unterschiedlichen Fertigungsschritten und auch unterschiedliche Produkte angefertigt...)
- kein Zeitverlust durch Umladen

Nachteil: Wafertransportsystem muss beste Reinraumklasse sein!

12. Welche weiteren Folgen ergeben sich aus einem automatisierten Transportsystem?

- Im Idealfall werden die Wafer bis zum Einzelgerät transportiert und dort automatisch geladen --> erstklassige Liniensteuerung nötig
- Aufbau eines aufwendigen Reinraumsystems für das Wafertransportsystem (beste in Fab verwendete Reinraumklasse!)

13. Welchen Vor- und Nachteil bietet ein SMIF (oder FOUP) gegenüber einer offenen Kassette?

SMIF= Standard Mechanical Interface

- + Kostenersparnis, wegen Mini environment-Transportbehälter
- + Wafer werden von Umgebungsluft getrennt
- + bessere Automatisierungsmöglichkeiten
- + Schutz vor Missproduktion durch eine bessere Kontrolle der Arbeitsschritte
- im Skript finden sich keine Nachteile...

14. Welche Aufgaben kann die CIM übernehmen?

CIM= Computer integrated Manufacturing

Bei einem vollautomatischen Transportsystem ein Computersystem, welches

- über den Zustand jeder Maschine und Wafers bescheid weiß
- über den augenblicklichen Ort, Verweildauer dort und Zukunftsweg jeden Loses Bescheid weiß

-->Produktionssteuerung mittels CIM falls diese Informationen in einer Datenbank angelegt sind.

15. Was wird bei der statistischen Prozesskontrolle kontrolliert?

Statistische Auswertung von Prozessmesswerten, um Fehlentwicklungen zu erkennen und zu korrigieren

Kapitel 7: Factory Dynamics

1. Welche logistischen Kennzahlen einer Produktion ergeben sich aus den Kundenwünschen und damit der Wettbewerbsfähigkeit?

- kurze Lieferzeit --> kurze Durchlaufzeiten
- hohe Liefertreue --> stabile Durchlaufzeiten, niedrige Ausschussraten
- attraktive Verkaufspreise --> wettbewerbsfähige Produktionskosten (hoher Durchsatz und Auslastung)
- große Flexibilität --> kurze Durchlaufzeiten, niedrige Bestände, hohe Kapazitätsflexibilität

Die gleichzeitige Optimierung aller logischen Kennzahlen ist oft problematisch

2. Was beschreibt das 4-Partner-Modell?

4 Partner: Mensch - Maschine - Methode - Material. Damit eine Produktion möglich ist, müssen alle vier Partner gleichzeitig, d.h., an demselben Ort zur gleichen Zeit, verfügbar sein.

3. Was versteht man unter Synchronisation im 4 Partner Modell?

(siehe Punkt 2)

4. Nach welchem Ablaufschema erfolgt die Erhöhung der Synchronisation?

Analyse des Synchronisationsgrades --> Erhöhung der Verfügbarkeit der Einzelpartner --> Erhöhung der Synchronisation --> Erhöhung der Verfügbarkeit des schlechtesten Partners

5. Wie unterscheidet sich eine Kfz-Herstellung von der Halbleiterherstellung im Synchronisationsgrad?

Bei der Kfz-Herstellung kann die Vielzahl an kleinen, einfachen Arbeiten so portioniert werden, dass jede Station gleich getaktet wird --> hoher Synchronisationsgrad

Bei der Halbleiterherstellung kann die Vielzahl der unterschiedlichen, komplexen Prozesse für unterschiedliche Produkte nur schwer in Gleichtakt gebracht werden --> niedriger Synchronisationsgrad.

6. Wie ist die Variabilität definiert? Wozu dient sie?

Die Variabilität ist definiert als ein Maß für die Nichtgleichförmigkeit einer Menge von Ereignissen: In Produktionssystemen gibt es eine Vielzahl von Größen, die Variabilität

aufzeigen, z.B. die Abmessungen einer Schraubenlänge, die Zeit, nach der eine Maschine ausfällt...

Variabilitätsklasse	Variabilitätskoeffizient	Typische Situation
Niedrig	$c < 0,75$	Maschinenprozesszeiten ohne Ausfälle
Moderat	$0,75 < c < 1,33$	Prozesszeiten mit kurzen Ausfällen
Hoch	$c > 1,33$	Prozesszeiten mit hohen Ausfällen

Der Variabilitätskoeffizient wird mit folgender Formel berechnet:

$$c := \frac{\text{Standardabweichung } \sigma}{\text{Mittelwert } \mu} \times 100\%$$

Je kleiner c ist, desto konstanter ist die Leistung.

7. Was bedeuten die Abkürzungen MTOL und MTTF?

- Mittelwert der unproduktiven Zeit (Mean time-off-line)
- Mittelwert der produktiven Zeit (Mean time-to-failure)

8. Mit welcher Theorie kann man die Produktivität einer Produktionslinie mittels der Verteilungen TOL und TTF berechnen?

Warteschlangentheorie

9. Welche typische Situation wird in der Warteschlangentheorie behandelt?

Die Wartenden treffen statistisch verteilt in der Warteschlange an (Zwischenankunftszeiten), und werden nach einer statistisch verteilten Zeit bedient (Bedienzeiten).

Zeitlich unabhängige Ereignisse sind meist exponentialverteilt. Da die Wartenden meist den gleichen Wunsch haben, sind die Bedienzeiten meist normalverteilt (Poisson). Die Poissonverteilung kann aus der Exponentialverteilung abgeleitet werden.

10. In welche Parameter der Warteschlangentheorie geht die Statistik ein?

- Zwischenankunftszeit
- Bedienzeit

11. Nennen und erklären Sie zwei Bedienregeln

- *FIFO: first in, first out*
- *LIFO: last in, first aus*
- *SIRO: served in random order*
- *RR: round Robin (feste Bedienzeit pro Auftrag, dann zurück zur Warteschlange)*

12. Geben Sie ein Beispiel für die Kendall-Notation von Warteschlangensystemen und erklären Sie die einzelnen Teile

A|B|m|n|-S

A: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zwischenankunftszeiten t_a (a:= arrival)

B: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bearbeitungszeiten t_e (e:=execution)

m: Anzahl der Bedieneinheiten (falls m:=1 --> „One-server“-Modell)

n: Anzahl der Warteplätze (falls unendlich, wird n meist weggelassen)

S: Bedienregel (siehe Punkt 11)

Für A und B gibt es viele verschiedene Verteilungstheorien:

- M: Exponentialverteilung (--> Markov; am einfachsten zu berechnen, da diese nur von einem Parameter abhängt)
- E: Erlangverteilung
- H: Hyperexponentialverteilung
- G: beliebige Verteilung

13. Welches ist das einfachste Warteschlangensystem? Warum?

Am einfachsten zu bedienen ist das M|M|1-FIFO.

Zur Berechnung wird die Exponentialverteilung verwendet. Da diese nur von einem Parameter abhängt, ist diese von allen Verteilungen am einfachsten zu berechnen.

14. Wie lautet das Gesetz von Little?

$$N_s = DS \cdot T_v \text{ bzw. } DLZ = \frac{WIP}{DGR}$$

N_s : Zahl der Aufträge im System

DS: Durchsatz (mittlere Zahl von Aufträgen, die pro Zeiteinheit bedient werden)

DGR: Daily going rate (tägliches Durchsatz)

T_v : Verweildauer der Aufträge im System=Wartezeit + Bedienzeit

WIP: Work in Progress

15. Wie ist die Auslastung definiert?

$$\text{Auslastung } AL = \frac{\text{mittlere Bedienzeit}}{\text{mittlere Zwischenankunftszeit}} = \frac{\text{Ankunftsrate}}{\text{Bedienrate}}$$

16. Wie lautet die Kingman-Gleichung?

$$\underbrace{\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right)}_{\text{VariabilitätV}} \cdot \underbrace{\left(\frac{u}{1-u} \right)}_U \cdot \underbrace{t_e}_{\tau}$$

u: Auslastung

c_a, c_e : Variationskoeffizienten der Ankunftszeit und Bedienzeit

Die Erfahrung zeigt, dass diese Näherung solange in Ordnung geht, bis c_a und c_e nicht wesentlich größer als 1 sind, und u nicht an die Grenzen 0 und 1 kommt.

17. Was beschreibt die Kingman-Gleichung?

Kurzantwort: $\bar{T}_w(G|G|1)$

Ausführliche Antwort: Die Kingman-Gleichung ist eine Näherung, mit der die mittlere Wartezeit \bar{T}_w in einer Schlange mit einer Bedieneinheit und beliebig verteiltem Ankunfts- und Bedienprozess beschrieben werden kann.

18. Welcher Parameter in der Kingman-Gleichung ist zusätzlich gegenüber dem M|M|1-FIFO-System?

Die Kingman-Gleichung enthält im Gegensatz zum M|M|1-FIFO-System die Variabilität V.

19. Was versteht man in einer Prozesslinie unter der physikalischen Durchlaufzeit?

Unter der physikalischen Durchlaufzeit PDLZ (engl.: raw cycle time; RCT) versteht man die Durchlaufzeit ohne Wartezeit. Dies ist die physikalisch kürzest mögliche Durchlaufzeit eines Loses durch eine Linie und ist die Summe der Bedienzeiten.

20. Wie ist der Flussfaktor definiert?

Der Flussfaktor FF ist definiert als der Quotient aus Durchlaufzeit (DLZ; engl.: CT [cycle time]) und Physikalischer Durchlaufzeit. Nachdem die Durchlaufzeit niemals kleiner sein kann als die Physikalische Durchlaufzeit, ist der Flussfaktor immer größer als eins:

$$FF = \frac{DLZ}{PDLZ} \geq 1.$$

Er beschreibt, um wie viel höher die aktuelle Durchlaufzeit im Vergleich zum Bestwert ist. Dadurch können unterschiedliche Geräte oder Prozesslinien miteinander verglichen werden.

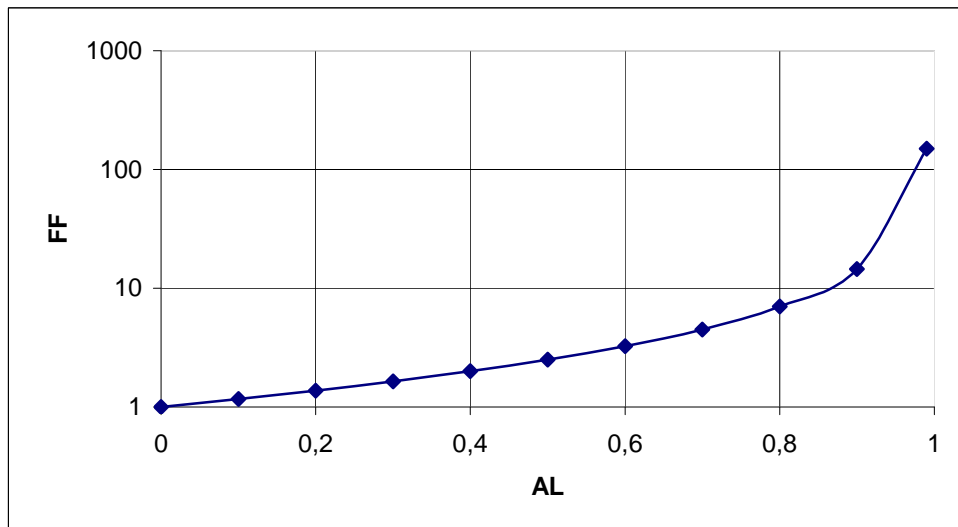
21. Wie lautet die Gleichung der Betriebskennlinie?

$$FF(G|G|1) = \alpha \cdot \left(\frac{AL}{1-AL} \right) + 1$$

α : Variabilität

AL: Auslastung (engl.: u [utilisation])

22. Zeichnen Sie in einem Koordinatensystem mit Beschriftung die grundsätzliche Form der Betriebskennlinie ein



23. Welche Parameter der Betriebskennlinie sind nur längerfristig veränderbar? Warum?

- Physikalische Durchlaufzeit
- Maximale Kapazität
- Variabilität

Veränderung dieser Parameter nur durch bessere Synchronisation oder neuen Maschinen möglich.

24. Welche Parameter der Betriebskennlinie sind kurzfristig veränderbar? Warum?

- Durchlaufzeit
- Anzahl der Aufträge
- Durchsatz

Veränderung dieser Parameter durch Verringerung oder Erhöhung der Einschleusung möglich.

25. Wie wird in der Praxis die Durchlaufzeit eines Produktes ermittelt?

Aus einer Datenbank kann die Zeitdifferenz (Move-out OP3599-Move-out OP3602; Markierung in Form eines auf jedem Los aufgeklebten Barcodes, wird vom Operator nach Beendigung einer Operation per Laser-Scanner in Datenbank eingegeben) die momentane Durchlaufzeit für ein Los n aus Arbeitsplan i an der Operation I an der Maschine m bestimmt werden und der Anzahl der move-out Buchungen der momentane Durchsatz.

26. Was versteht man unter einer dynamischen Durchlaufzeit?

Teilt man die CT durch die Anzahl der Operationen L, so erhält man die hochgerechnete Durchlaufzeit des Produktes i. Dieser wird auch dynamische Durchlaufzeit (dynCT_i) genannt.

27. Wie können Betriebskennlinien verbessert werden?

1. Erhöhung der Kapazität := maximal möglicher Durchsatz --> Erhöhung der produktiven Zeit, der Produktionsgeschwindigkeit, Verfügbarkeit
2. Verringerung der Variabilität: $c_e^2 = c_{Mensch}^2 + c_{Maschine}^2 + c_{Methode}^2$

Ergänzungen zu den Kontrollfragen:

1. Nennen Sie einige Kennzahlen einer Produktionslinie

- kurze und stabile Durchlaufzeiten
- hoher Durchsatz
- hohe Auslastung
- niedrige Bestände

Kapitel 8: Overall Equipment Efficiency

1. Nach welcher funktionalen Abhängigkeit steigen die zeitlichen Investitionskosten einer produktionsfähigen Halbleiterfabrik? Was kostet im Augenblick eine FAB etwa?

- Die Investitionskosten steigen exponentiell (etwa Faktor 10 in 15 Jahren).
- Kosten: 2 Milliarden Euro

2. Welchen Anteil an der Preissteigerung haben die Prozessgeräte?

Der Anteil beträgt $\frac{2}{3}$.

3. Nennen Sie ein paar Gerätehersteller und Organisationen

- Applied Materials
- ASML
- Novellus
- SEMI
- SEMATECH
- ...

4. Warum wurde OEE ein Aufgabenbereich, was soll mit OEE erreicht werden, seit wann betrachtet man OEE?

Definition: Overall Equipment Efficiency = $\frac{\text{Theoretical time for effective tools}}{\text{Total Time}}$

Etwa um 1995 wurde der Halbleiterindustrie klar, dass sie ihr weiteres Wachstum nur durch Umstellung der Wafergröße von 200mm auf 300 mm sichern kann. Hierfür mussten neue Prozessgeräte entwickelt werden. Gleichzeitig kamen die Investitionskosten für die Bestückung einer neuen Halbleiterfabrik bedrohlich nahe an die Leistungsfähigkeit einzelner Firmen.

Zur Minderung dieser Gefahr wurden zum einen gemeinsame Konsortien gegründet, zum anderen nach Möglichkeiten zur Verbesserung der Produktivität (mehr Chips bei geringeren Herstellungskosten) gesucht.

Bei Untersuchungen zur Produktivität fiel unter anderem auf, dass viele der teuren Prozessgeräte in einer Halbleiterfabrik oft weniger als 50% der Zeit für die Herstellung verkaufter Chips zur Verfügung standen. Zur Verbesserung dieses Zustandes mussten die Gerätezustände definiert und auch datentechnisch gemeldet werden können.

Auf Initiative von SEMI wurden diese Definitionen und Spezifikationen in sogenannten E-Standards entwickelt.

5. Was beschreibt der SEMI-E10 Standard?

Die Aufgabe des SEMI-E10 Standards ist die Definition der verschiedenen betrieblichen Gerätezustände als Zeitmodell.

6. Nennen Sie einige der E-10 Zeiten und jeweils Beispiele

Non Scheduled Time (Nichtbetriebszeit)	Operations Time (Betriebszeit)				
	Down Time (nicht bereit)			Up Time (bereit)	
	Unscheduled Down Time (ungeplante Nichtbereitschaft)	Scheduled Down Time (geplante Nichtbereitschaft)	Engineering Time (...)	Manufacturing Time (Produktionszeit)	
				Productive Time (Produktive Zeit)	Standby Time (Wartezeit)
* Betriebsferien * Installation / Umbau / Stilllegung * Schulung	* Betriebsmittel aus * Spezifikation verlassen * Reparatur	* Wartung * Materialwechsel * Umstellungen	* Justierungen * Prozesstests	* eigene Produktion * Auftragsproduktion * rework * engineering runs	* kein Operator * kein Produkt * keine Versorgung

(Grafik aus Skriptum)

7. Was beschreibt der SEMI E-79 Standard?

- verwendet E-10 als Basis zur Zeiterfassung
- definiert Effizienzverluste auf Zeitbasis
- definiert mit Effizienzverlusten eine Overall Equipment Efficiency (OEE)
- ist auch für komplexe Anlagen anwendbar

8. Nennen Sie einen der E-79 Effizienzverluste und ein Beispiel dazu

- E-10: Standby --> E-79: Betriebszeitverlust (Maschine eingeräumt, aber vergessen zu starten)
- scheduled down --> Verfügbarkeitsverluste (Salz muss nachgefüllt werden, ist aber nicht vorhanden --> Wartungsverzug)
- productive --> Qualitätsverlust (Maschine arbeitet, produziert aber Ausschuss)

9. Was könnte der nächste Schritt zu OEE sein? Warum?

Alle unterstützenden Systeme (zum Betrieb der Geräte in einer FAB nötig; z.B. Stromversorgung, Reinraum, Transportsystem) kosten ebenfalls Geld, können ausfallen und damit die Produktivität der Geräte herabsetzen. Es liegt daher nahe, über Overall Equipment Efficiency (OEE) eine Overall Factory Efficiency (OFE) zu entwickeln.