Industria: Manufactura de semiconductores.

Proceso elegido: Fotolitografía sobre oblea de silicio (sub-conjunto de sensores dentro de SECOM).

Datos reales: Tomados directamente de producción; ya vienen con etiquetas de rendimiento.

Herramientas SQC aplicables: limpieza de datos, selección de variables clave, cartas de control, índice de capacidad y análisis de causas especiales.

¿Qué es SECOM?

En el ámbito académico, SECOM es simplemente el nombre que los autores dieron a un estudio de “SEmiconductor COMpany” (o bien “SEmiconductor Manufacturing”) cuando, en 2008, publicaron un conjunto de datos anónimos procedentes de una línea real de fabricación de obleas. No es un acrónimo estandarizado ni una empresa concreta; es un “case study (caso de estudio)” que se volvió popular para investigación en minería de datos, detección de fallos y Control Estadístico.

¿Qué es la litografía en semiconductores?

“Litografía” viene del griego lithos = piedra y graphein = escribir: literalmente “escribir sobre piedra”.

En micro-fabricación se emplea fotolitografía (óptica) DUV (248 nm, 193 nm) y EUV (13.5 nm) para transferir el patrón del circuito a una oblea de silicio recubierta con una foto-resistente sensible a la luz. El flujo básico es:

1. Spin-coat: se deposita una película uniforme de resiste; se mide su espesor.
2. Pre-bake (soft-bake): se evapora disolvente.
3. Exposición: la máscara (photomask o retícula) se proyecta sobre la oblea; las variables críticas son dosis (energía por área) y enfoque.
4. Post-bake: completa la reacción fotoquímica.
5. Revelado: se disuelve selectivamente el resiste expuesto/no expuesto.
6. Metrología: con un CD-SEM se mide el Critical Dimension (CD) y el overlay entre capas; CD típicos en nodos FinFET de 14 nm son 14 ± 2nm

El rendimiento (yield) del chip depende fuertemente de mantener CD y overlay dentro de unas pocas décimas de nanómetro, de ahí la necesidad de control estadístico estricto.

Respecto a los datos, estos están bajo licencia CC-BY-4.0.

Los datos se encuentran almacenados en: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/179/secom>

Panorama general del dataset SECOM.

El conjunto SECOM fue publicado en el repositorio UCI en 2008 y procede de una línea real de fabricación de obleas de silicio. Consta de:

* 1567 observaciones (lotes, obleas individuales o “unidades de prueba”).
* 590 variables continuas recopiladas por sensores in-line + 1 columna de identificación (total 591). Los nombres se anonimizaron (V1,…,V590).
* Etiqueta Pass/Fail: -1 = pasa, 1 = falla (solo 104 fallas por lo cual el desbalance es del 6%).
* Timestamps de cada observación, útiles para ordenar cronológicamente.
* 1% - 8% de los valores son NaN (sensor inactivo o lectura inválida).

Ubicar la fotolitografía dentro de la fabricación.

El flujo “frond-end” típico contiene más de 300 pasos que se repiten en ciclos: limpieza, oxidación, fotolitografía, grabado, deposición y CMP. La fotolitografía actúa como cuello de botella porque define el ancho de las compuertas (Critical Dimension, CD) y el overlay, es decir la alineación capa sobre capa, parámetros que dictan velocidad, consumo y yield del chip.

Secuencia clave de fotolitografía:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Paso | Objetivo | Variable típica |
| Spin coat de resiste | Depositar película uniforme | Espesor de resiste (nm) |
| Soft bake | Evaporar disolvente | Temperatura/tiempo de placa (°C, s) |
| Exposición DUV/EUV | Patrón óptico | Dosis de energía (mJ cm^-2), enfoque (nm) |
| Post-exposure bake | Completar reacción química | Temperatura/tiempo (°C, s) |
| Revelado | Disolver resiste expuesto | Caudal de químico (ml s^-1) |
| Medición CD-SEM | Verificar dimensiones | CD, overlay (nm) |

Los datos SECOM encajan con la fotolitografía.

* La combinación de columnas relacionadas con temperatura, presión y dosis reproduce exactamente los puntos de control de un escáner DUV.
* El timestamp permite reconstruir la secuencia temporal y agrupar lecturas en subgrupos de, p. ej., 5 lotes por turno.

Propuesta de metodología.

1. Extracción del dataset SECOM y filtrado de 6-10 sensores litográficos.
2. Pre-procesamiento:
   1. Eliminar columnas con >80 % NaN.
   2. Imputar restantes con la mediana.
   3. Estandarizar.
3. División en un subconjunto “pass” (base in-control) y “mixto” para validación.
4. Herramientas estadísticas:
   1. Cartas.
   2. Etc.

Principales problemas que suelen aparecer en la fotolitografía.

* Deriva de dosis y/o enfoque.
  + Lo que provoca es el envejecimiento de la lámpara o de láser DUV/EUV. Pues provoca contaminación óptica.
* Desalineación entre capas (overlay).
  + Drift mecánico del wafer stage.
  + Coeficiente de dilatación térmica de las retículas.
  + Error humano al introducir la receta.
* Variación del espesor del foto-resiste.
  + Inestabilidad de viscosidad.
* Partículas y defectos por contaminación.
  + Falta de mantenimiento de filtros