

變分自編碼器與集成學習於矽晶圓之晶粒異常檢測

指導教授：蔡篤銘教授

組長：1091247徐世霖

組員：1091214李奕廷

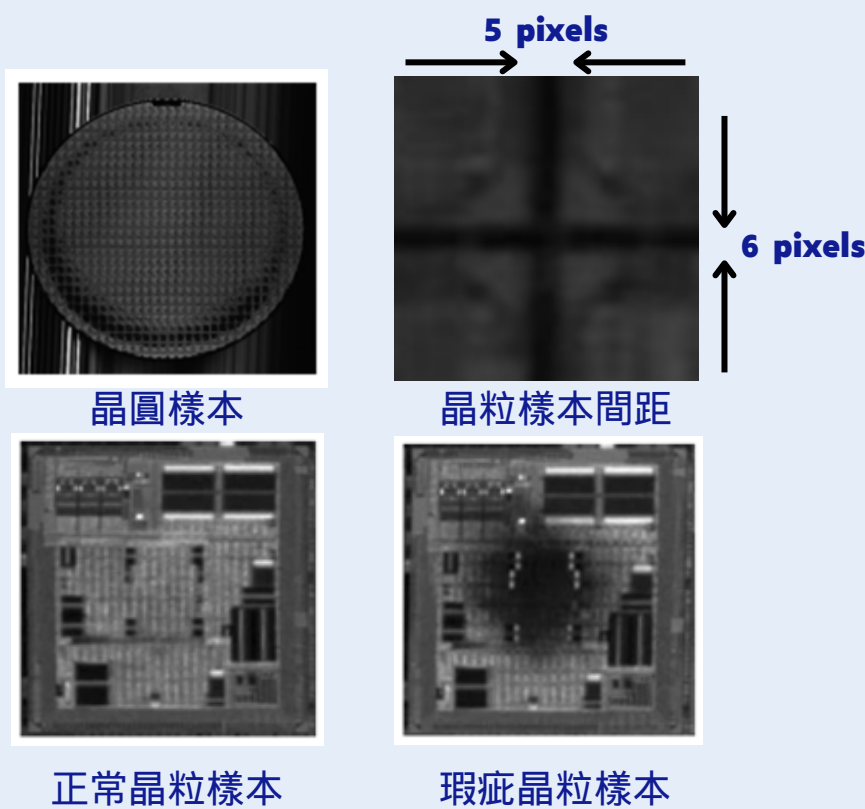
研究動機與目的

現今半導體製造中常見的瑕疵偵測為自動光學檢測(Automated Optical Inspection: AOI)，此檢測方式通常需要大量的正常和瑕疵樣本進行訓練，在瑕疵樣本稀少的情況下，會導致辨識模型訓練效果不佳。此外，晶粒分割過程中可能會產生微小的位移，也會影響瑕疵檢測的準確性。

本專題研究希望透過深度學習之電腦視覺技術能夠尋找出快速、便利的方式進行晶粒瑕疵偵測，為了改善這些缺點，我們針對瑕疵樣本不足以及晶粒切割位變變化提出有效的深度學習方法並進行測試分析。

研究樣本

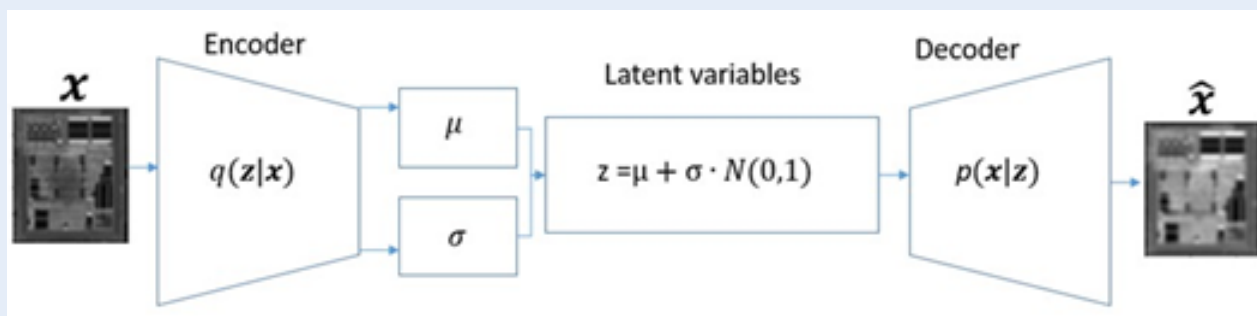
晶圓是半導體晶體圓形片的簡稱，其為圓柱狀半導體晶體的薄切片，用於積體電路製程中做為載體基片；由於其形狀為圓形，故稱為晶圓。本研究晶圓中相鄰晶粒之間存在約5~6個像素，另外，本研究探討的同一晶圓內的所有晶粒皆有相同的圖案間距。正常晶粒是指在固態材料中生長形成的晶體結構，其尺寸和排列方式符合預期的、沒有明顯異常或缺陷的特徵；瑕疵晶粒在晶粒製造的過程中，因為人為或是外在的因素，導致晶粒圖案上出現微粒或汙染、等瑕疵，本研究使用Labelme將晶圓樣本進行切割取得晶粒樣本



研究方法

單一變分自編碼器 (Single Variational Auto Encoder: Single VAE)

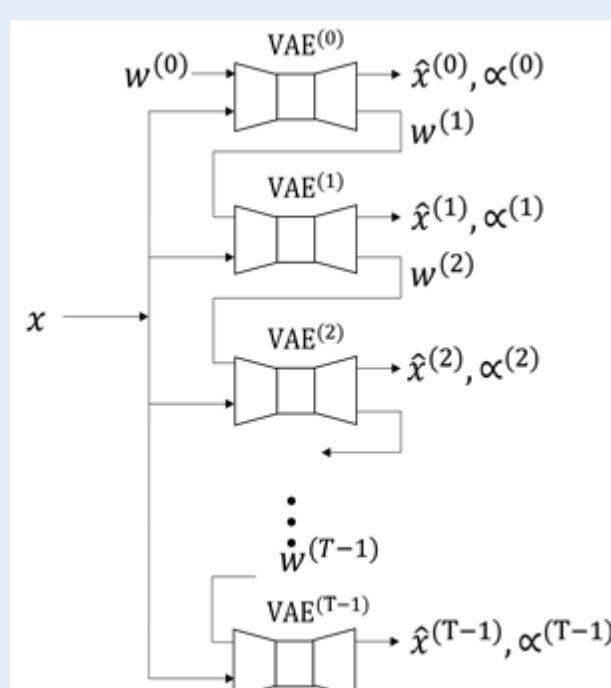
VAE為一種生成模型用於圖像重建和生成，結合了深度學習和概率建模的概念，以學習輸入數據，本研究採用VAE學習生成新的影像樣本，探討潛在結構中的變化，以便更好地理解輸入與輸出之間差異。一個僅訓練正常樣本的VAE可將一個瑕疵測試影像重建為正常影像，因此只要計算輸入影像與輸出影像的誤差值即可判斷瑕疵是否存在。



VAE架構圖

集成變分自編碼器 (Ensemble Variational Auto Encoders: Ensemble VAEs)

集成變分自編碼器是一種使用多個VAEs來檢測數據異常的方法。對多個單獨的VAE進行訓練，然後將所有VAEs的預測組合在一起，做出最終統合預測。當重建圖像產生較大誤差時，將訓練圖像分配較大的權重，否則會為訓練圖像分配一個較小的權重，從而期待該訓練圖像於下一階段VAE(t+1)實現良好的重建。本研究分別使用3VAEs與5VAEs作為實驗模型。

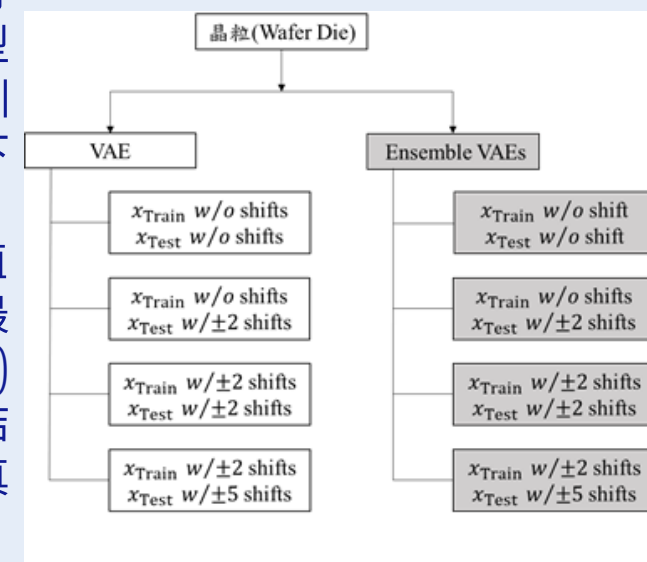


基於VAE的AdaBoost圖像重建權重調整

實驗結果分析

本研究晶粒樣本之各種位移的實驗，進行單一變分自編碼器與集成變分自編碼器模型進行晶粒異常檢測之實驗分析，同時評估訓練晶粒樣本以及測試晶粒樣本在位移條件下的瑕疵偵測能力及辨識率。

本研究利用模型在重建誤差的各種閾值下，測試晶粒的實驗結果，當中將準確率最大的結果相互進行比較。FP (False Positive) 為樣本的真實類別為正常，但是模型預測結果為瑕疵、FN (False Negative) 為樣本的真實類別為瑕疵，但是模型預測結果為正常、AUC為一種用於評估分類模型性能的指標，用於衡量模型在不同閾值下的分類能力



晶粒位移實驗組織圖

訓練樣本與測試樣本皆無位移實驗結果比較

(A)	FP	FN	Accuracy	AUC	
單一 VAE	6.0%	0.0%	97.0%	0.9968	
3VAEs	Hard voting	2.0%	3.3%	97.0%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00
5VAEs	Hard voting	0.0%	0.0%	100.0%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00

訓練樣本無位移、測試樣本位移兩像素實驗結果比較

(B)	FP	FN	Accuracy	AUC	
單一 VAE	10.7%	3.1%	93.1%	0.9907	
3VAEs	Hard voting	2.4%	6.7%	95.5%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00
5VAEs	Hard voting	0.0%	1.6%	99.2%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00

訓練樣本及測試樣本皆位移 2 像素實驗結果比較

(C)	FP	FN	Accuracy	AUC	
單一 VAE	2.2%	3.6%	97.1%	0.9955	
3VAEs	Hard voting	1.5%	10.7%	97.2%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00
5VAEs	Hard voting	0.0%	1.6%	99.7%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00

訓練樣本位移 2 像素及測試樣本位移 5 像素實驗結果比較

(D)	FP	FN	Accuracy	AUC	
單一 VAE	0.0%	10.0%	95.0%	0.9794	
3VAEs	Hard voting	4.7%	7.1%	94.1%	N/A
	Mean	0.2%	0.4%	99.7%	0.9999
5VAEs	Hard voting	0.0%	1.6%	99.2%	N/A
	Mean	0.0%	0.0%	100.0%	1.00

實驗結果比較

根據各種位移實驗的各模型最高準確率進行比較，得出對於位移較小的情況，3VAEs和5VAEs在瑕疵偵測方面都能滿足需求，由於計算時間的考慮，3VAEs可能是更有效的選擇。單一VAE在處理位移時可能無法很好地捕捉複雜的數據分布，這導致了模型無法充分地表示樣本中的變異性，因此，在處理位移時，集成VAEs的優勢變得更加明顯。