

World of Wafers

_ 智能氢刀

Smart Cut for SOI

王不老說半导

World of Wafers

_ 智能氢刀

Smart Cut for SOI

王不老說半导

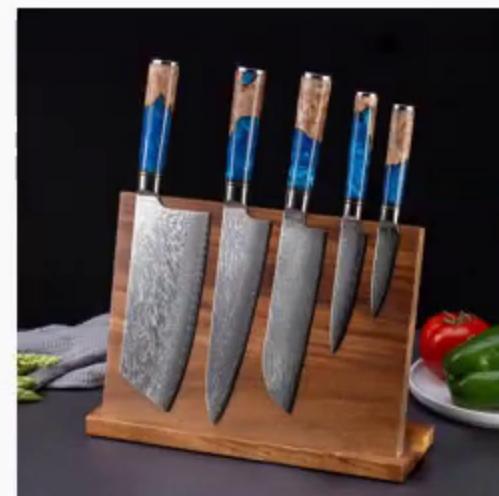
古代世界什麼刀最鋒利？

解答：大馬士革刀（如右上）

- 原產地印度，是用所謂的烏茲鋼錠製造，其最大的特點是刀身布滿木紋特殊的紋路，稱為穆罕默德紋
- 此刀極其鋒利，可將對手連盔甲一劈兩半，也可凌空斬斷手帕甚至蚕絲
- 不過現在某淘寶有賣仿製廚刀，一套兩百有找（如右下）

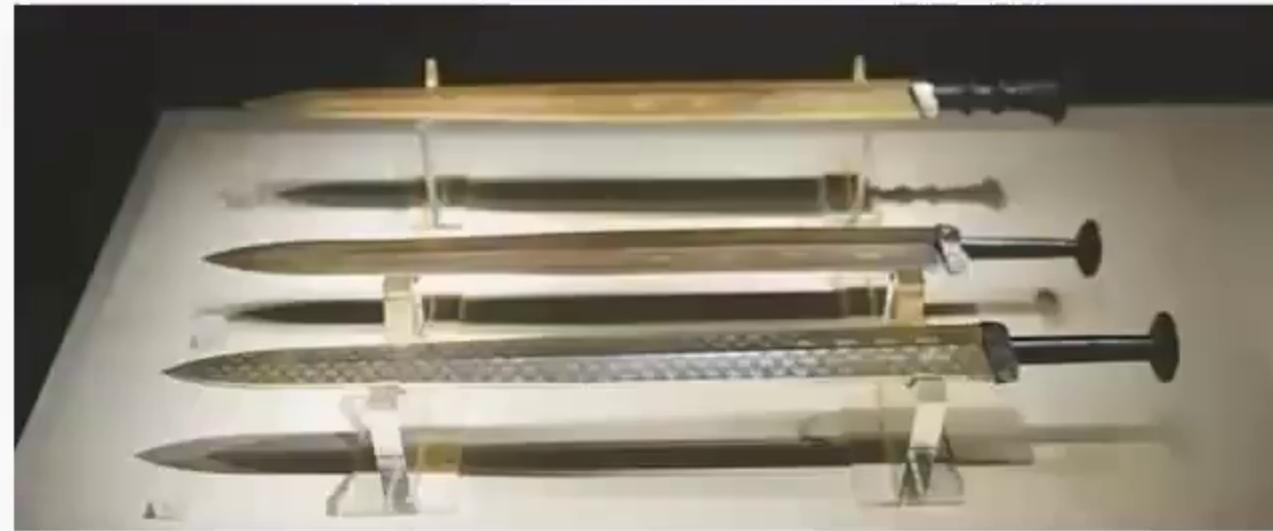


<https://kknews.cc/news/ogbav36.html>



古代世界什麼劍最先進？

- 解答:秦皇墓劍 (如右圖)
- 在黃土中沉睡了2000多年，出土時依然光亮如新，鋒利無比。研人員測試後發現，劍的表面有一層10微米厚的鉻鹽化合物。
- 此一發現，立刻轟動了世界，「鉻鹽氧化」處理方法，是近代才出現的先進工藝，德/美國在1937/1950先後才發明出來的
- 現代的納米世界呢？



<https://www.laoziliao.net/military/info/36952227>

硅納米雷射刺青刀: Laser scribe

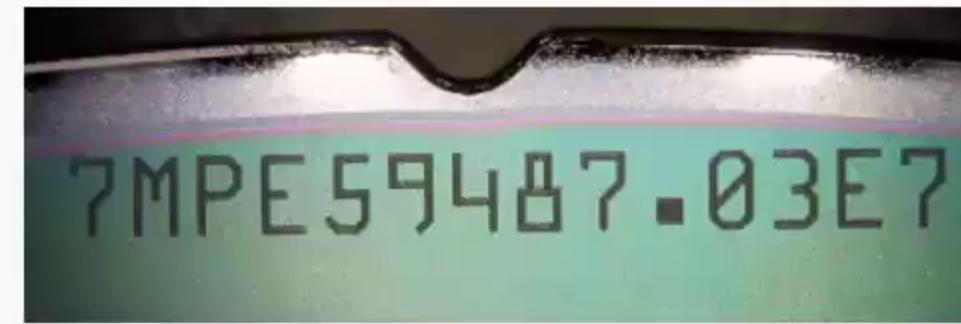
試問:為何所有硅晶圓必須以雷射刀刺青(曰之laser scribe)?刺正面還是背面?

解答:

- 每一個硅晶圓表面必須刺青，亦即刺上此晶圓身分證(曰之scribe)，方可追蹤其所有經歷的制程，不然就亂了套
- 本來刺正面，後來發現不僅浪費寶貴硅晶圓地皮，而且還容易在製程中被髒東西塞住，成了巨大汙染源，所以後來就改為岳母刺背了



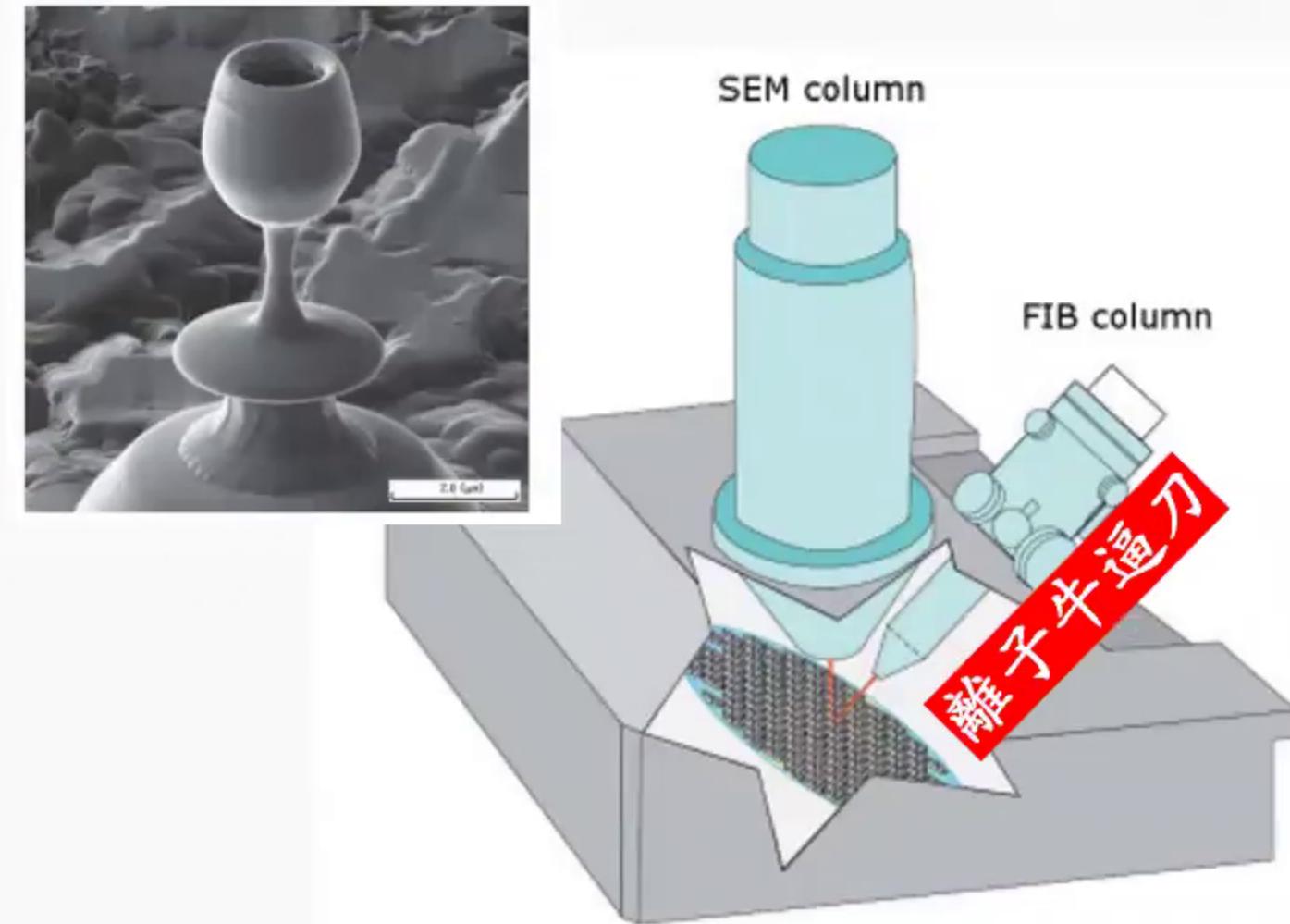
正面



背面

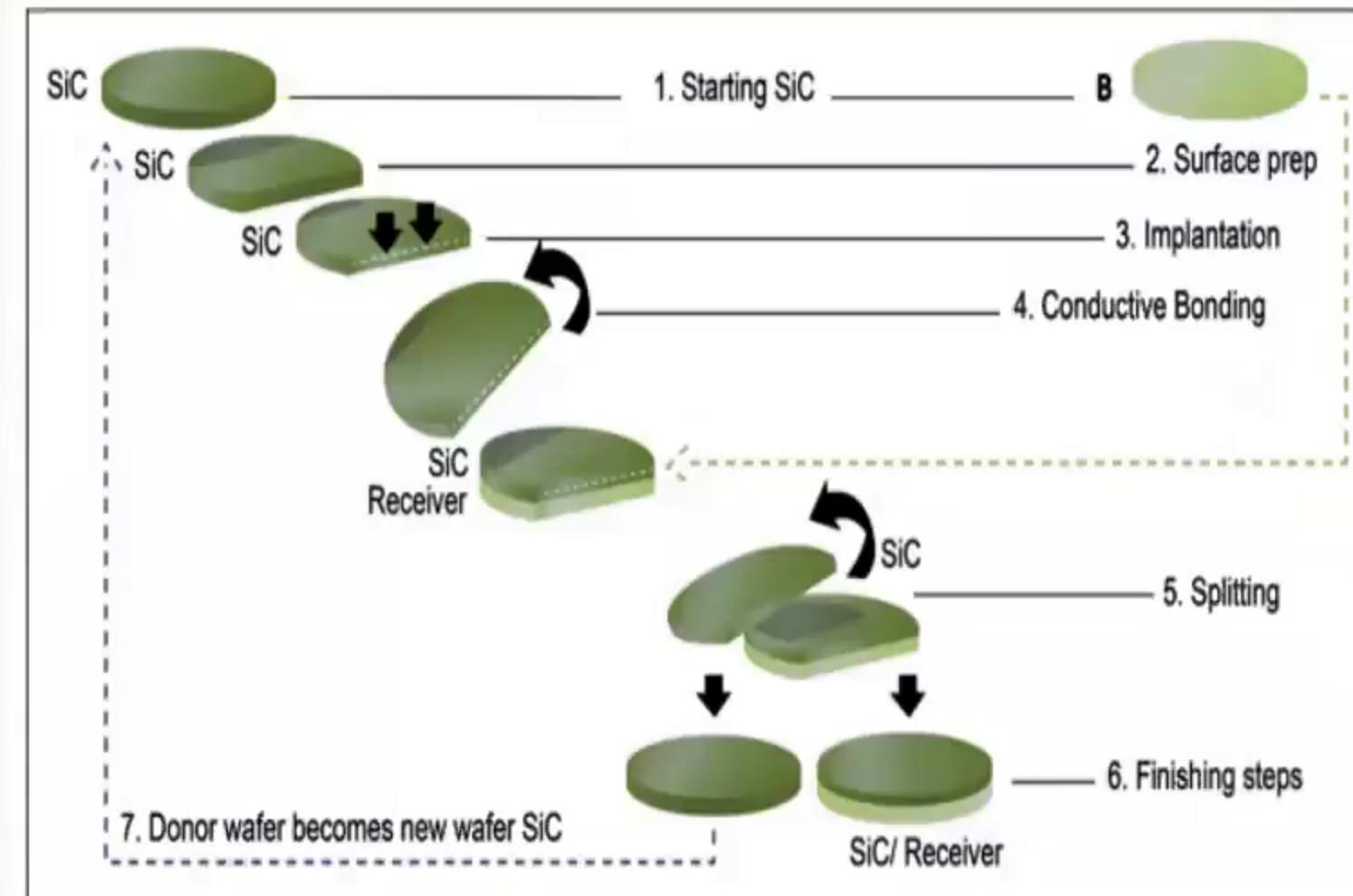
納米離子牛逼刀: Focus Ion Beam

- FIB (Focus Ion Beam): 聚焦离子束是将离子源(Ga, He和Ne)产生的离子束经过离子枪加速,聚焦后作用于样品表面
- 产生二次电子得电子像~SEM
- 对表面原子进行剥离,以完成微、纳米级表面形貌加工
- 以物理溅射的方式搭配化学气体反应, 有选择性的剥除金属或沉积金属层



Soitec智能氫刀: Smart-Cut

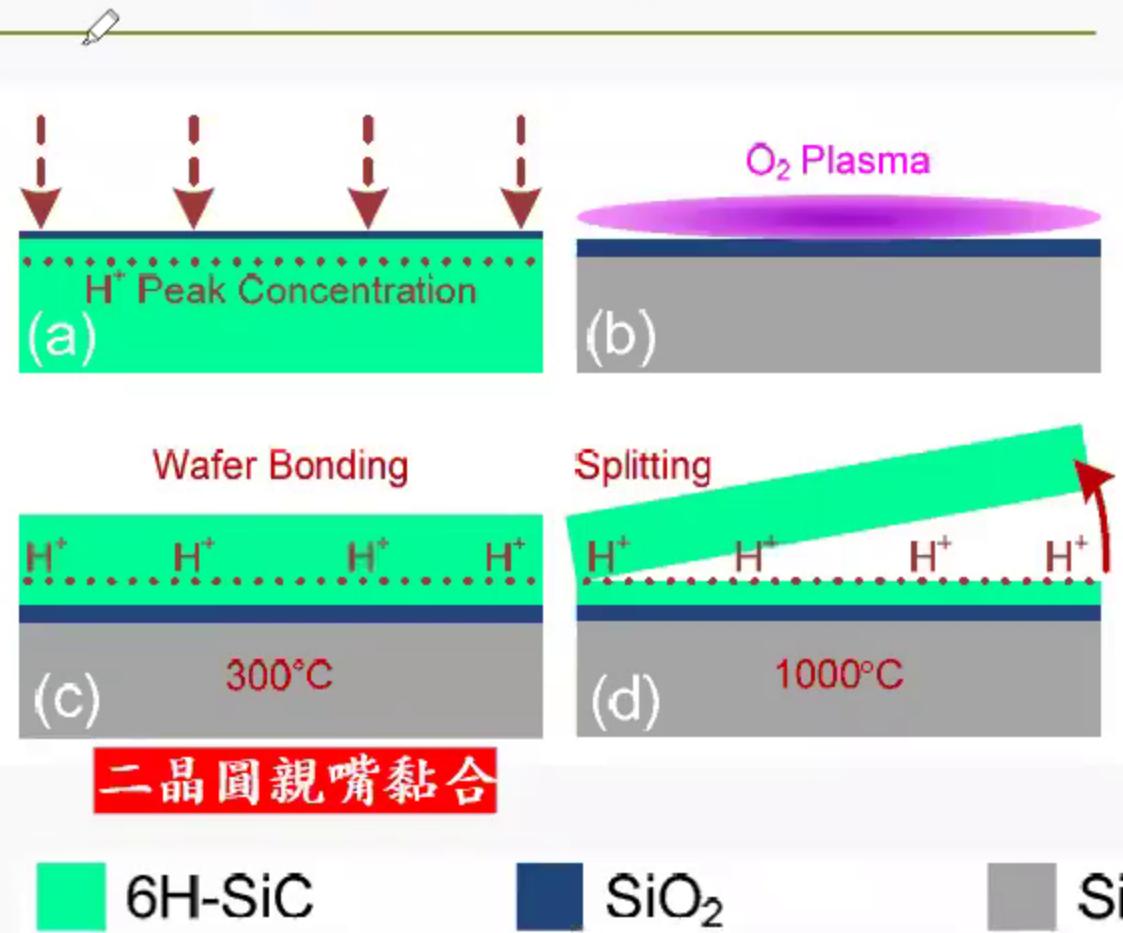
- Smart-Cut(智能切割)制程
 - 以氫為刀，將晶圓薄層分割 (splitting/implantation) + 晶圓親密黏合bonding)
 - 試問: 何謂以氫為刀?



試問：何謂以氫為刀？

解答：以Smart-cut SiC右圖為例

- a) 氢氣衝過SiC晶圓 SiO_2 表面(SiO_2 要事先長好)，注入內部，在某等距離處藏身，形成薄薄一片高濃度的小小扁平氫氣泡泡
- b) 晶圓用氧電漿洗去表面污垢(因為表面就是 SiO_2)
- c) 與另一晶圓親嘴黏合(300°C)
- d) 以高溫激發刀氣(>1000°C)，氫氣泡們聚集膨脹，產生超大應力，竟瞬間硬生生將晶圓劈成兩半→以氫為刀(有時候會加些他，He也)

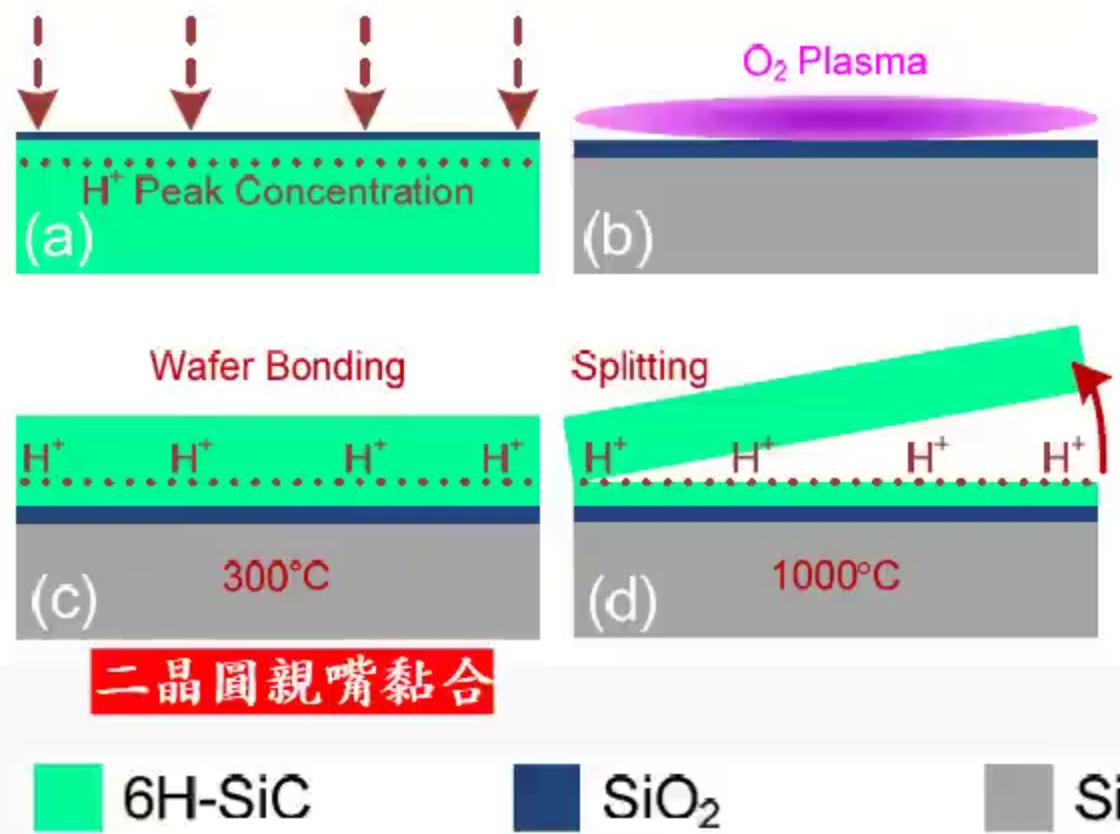


Yang et al, "Smart-cut 6H-silicon carbide (SiC) microdisk torsional resonators with sensitive photon radiation detection," MEMS'14, pp.793-796

試問：何謂以氫為刀？

解答：以Smart-cut SiC右圖為例

- a) 氢氣衝過SiC晶圓 SiO_2 表面(SiO_2 要事先長好)，注入內部，在某等距離處藏身，形成薄薄一片高濃度的小小扁平氫氣泡泡
- b) 晶圓用氧電漿洗去表面污垢(因為表面就是 SiO_2)
- c) 與另一晶圓親嘴黏合(300°C)
- d) 以高溫激發刀氣(>1000C)，氫氣泡們聚集膨脹，產生超大應力，竟瞬間硬生生將晶圓劈成兩半→以氫為刀(有時候會加些他，He也)



Yang et al, "Smart-cut 6H-silicon carbide (SiC) microdisk torsional resonators with sensitive photon radiation detection," MEMS'14, pp.793-796

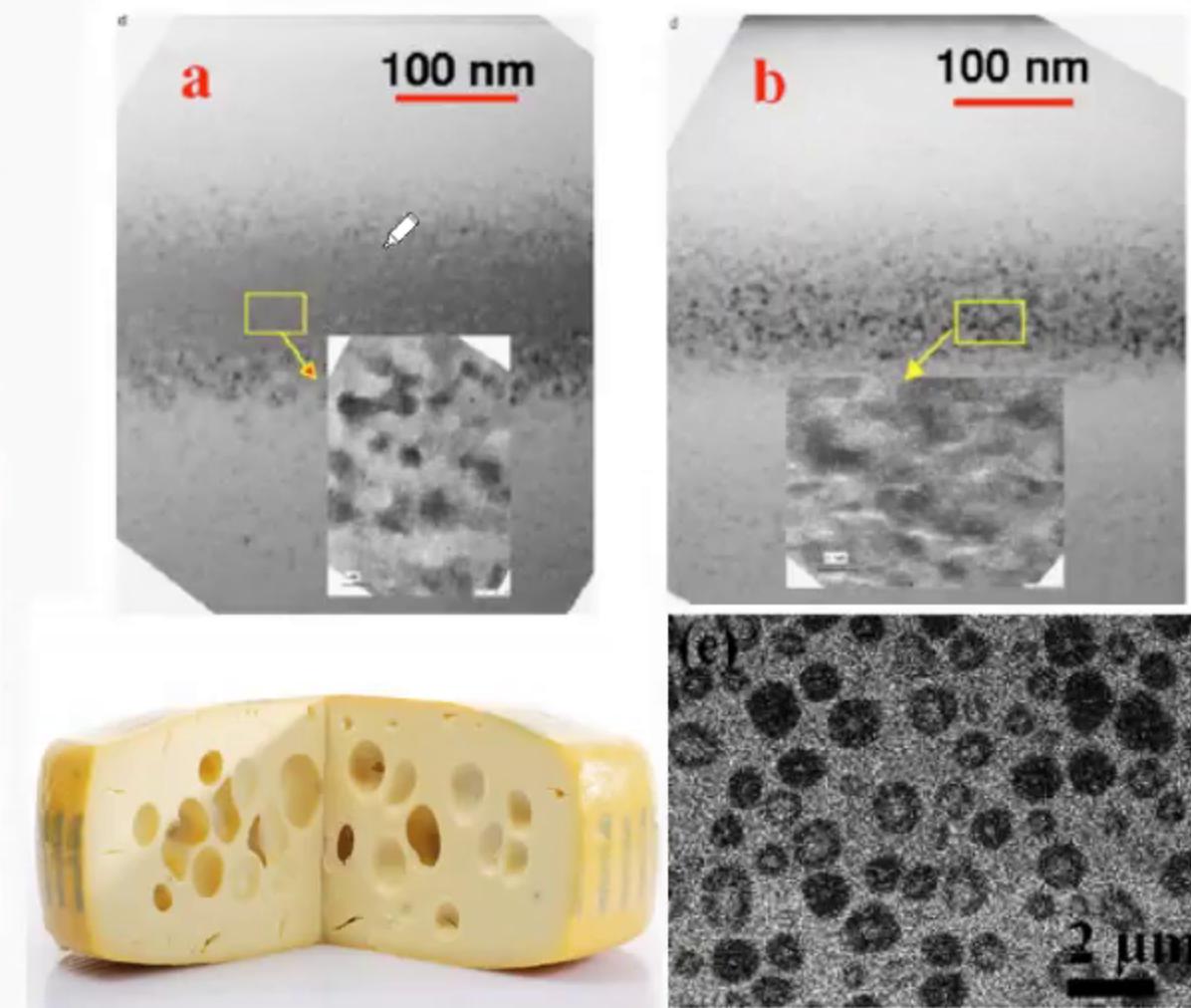
試問：何謂以氫為刀？

- 研究顯示，當氫原子高能keV (high energy implantation)植入優化後(如左下)，形成一個"瑞士奶酪狀"結構，其附近區高度受損，為無定形(amorphous)

TABLE I. List of experimental conditions. The doses of H and He implants were fixed and the total dose was around $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$.

Sample	Implant conditions	Depth profiles of species
S1	H 30 keV+He 70 keV	shifted
S2	He 70 keV+H 30 keV	shifted
S3	H 30 keV+He 45 keV	overlapped
S4	He 45 keV+H 30 keV	overlapped

Mechanism of the Smart Cut™ layer transfer in silicon by hydrogen and helium coimplantation in the medium dose range, Nguyen et al, J. Appl. Phys. 97, 083527, 2005

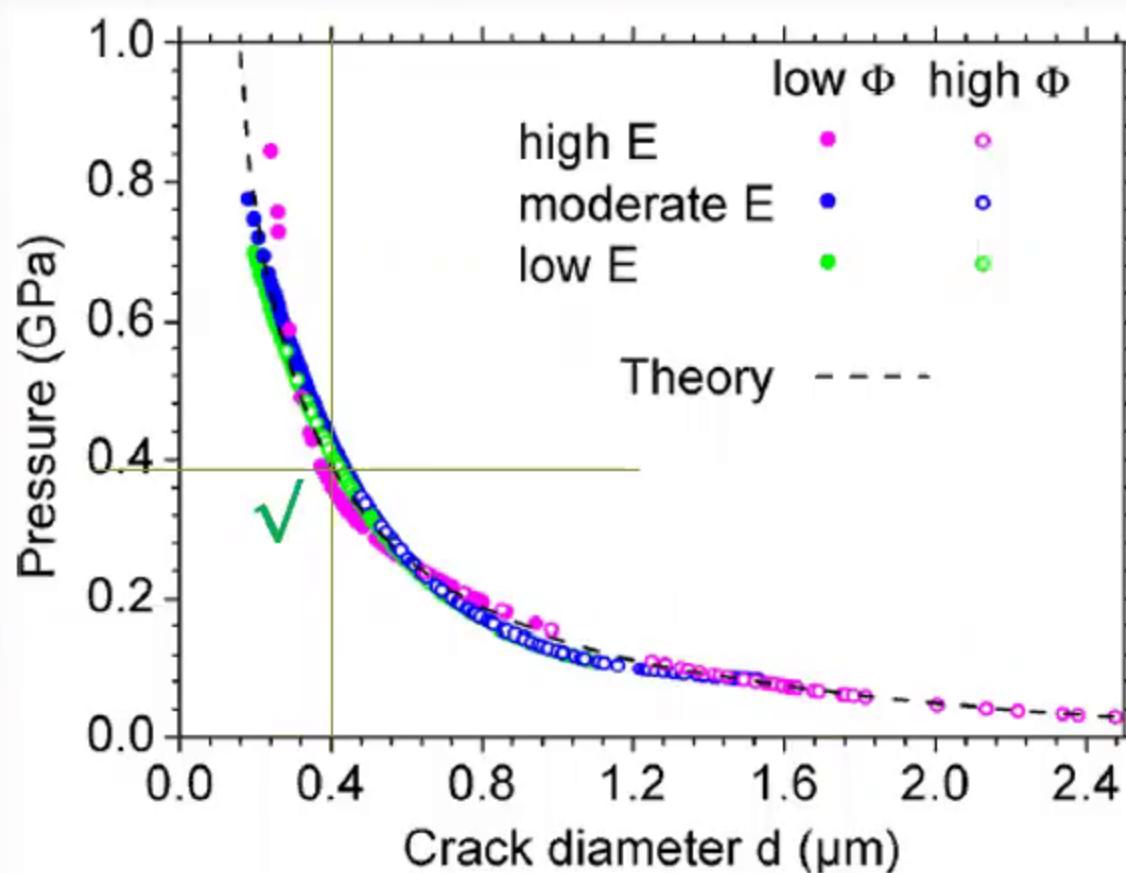
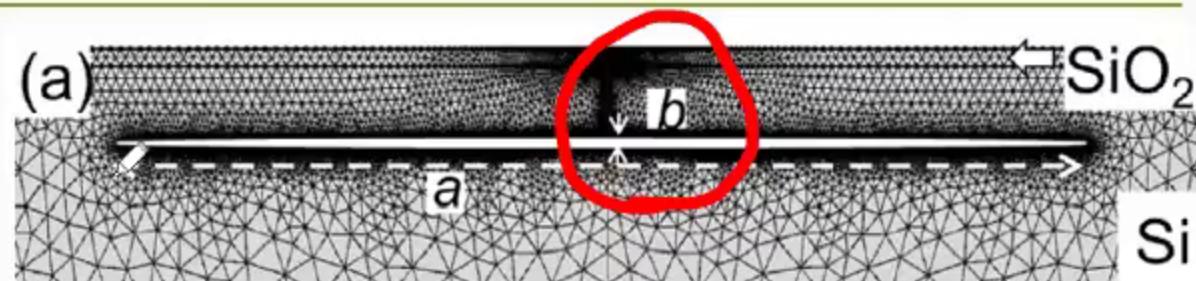


試問：何謂以氫為刀？

- 試以簡單數據驗證以下扁平氫氣泡半徑大小與內應力關係：

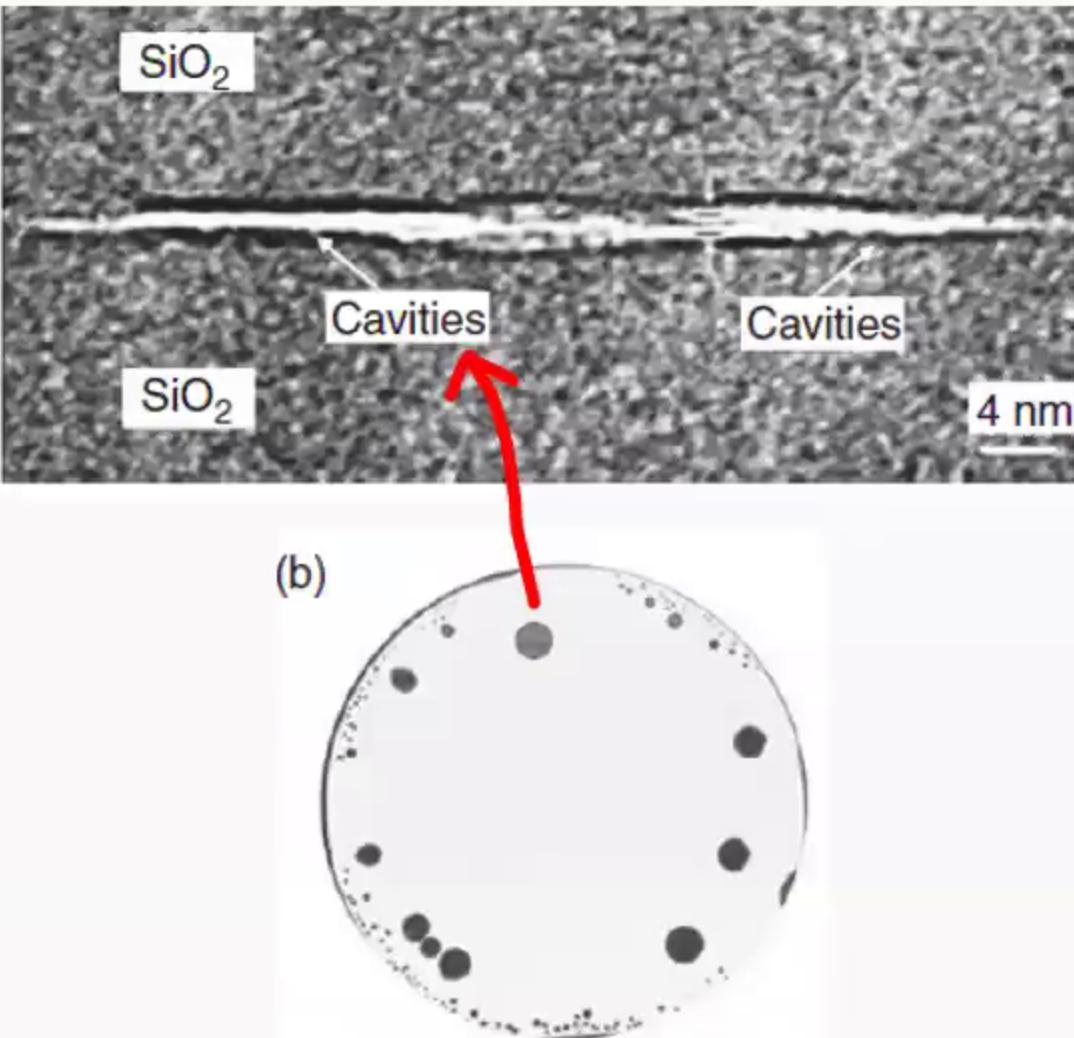
$$P(d) = \frac{\mu b}{\pi(1-\nu)(d/2)} (\ln(24(d/2)/b) - 1),$$

- b = Burger vector (3\AA) , μ = 71 GPa the shear modulus of silicon, and ν = 0.2335 the Poisson coefficient of silicon.
- 取 $d=0.4\text{um}$, $P(d=4000\text{\AA}) = 0.38\text{GPa}$ ✓



試問：親嘴前，嘴沒擦乾淨又如何？

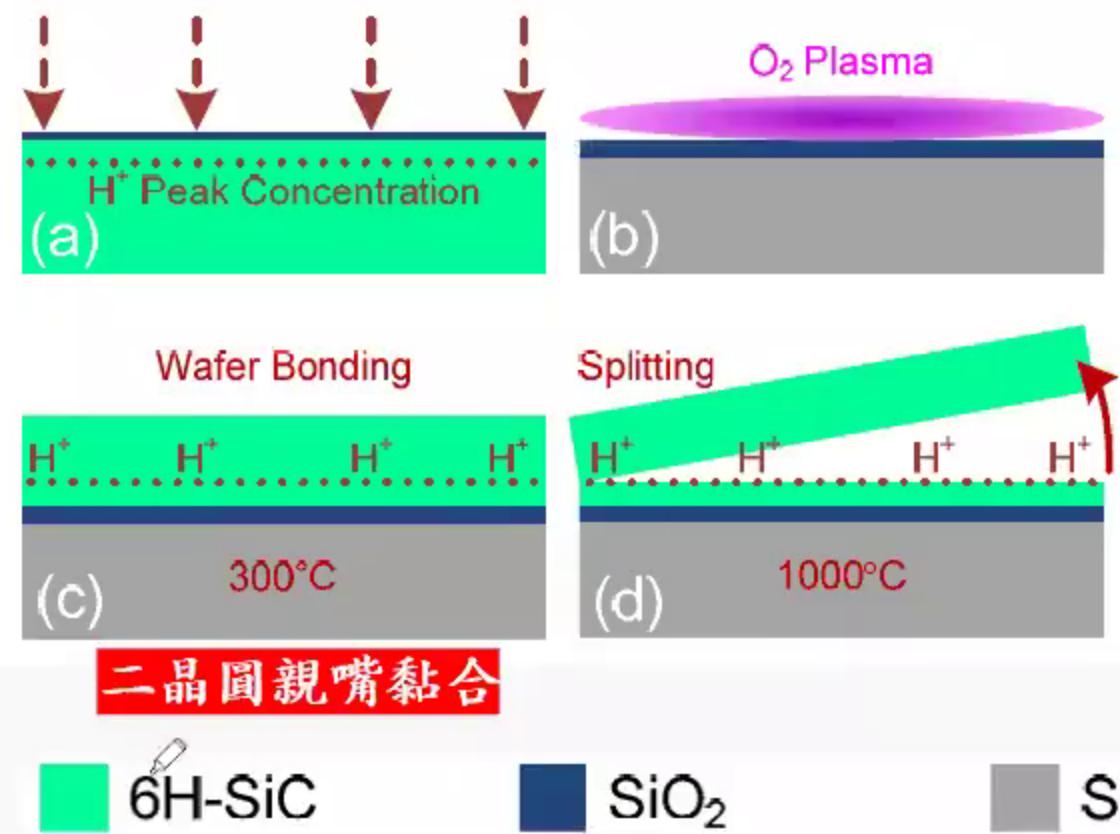
- **解答：**產生重大缺陷
- 如右圖所示，若在前頁(b)中，晶圓用種種方法(例如氧電漿)洗去表面污垢，若沒洗乾淨有汙染
- 隨後二晶圓親嘴黏合(**bonding**)，需加熱(**300C**)，此時在污染處，會產生重大缺陷(如右圖上的**cavities**)
- 右圖下所示，在這些缺陷之上所建的電子元件們，皆將無良率可言了



試問：何謂以氫為刀？

解答：以Smart-cut SiC右圖為例

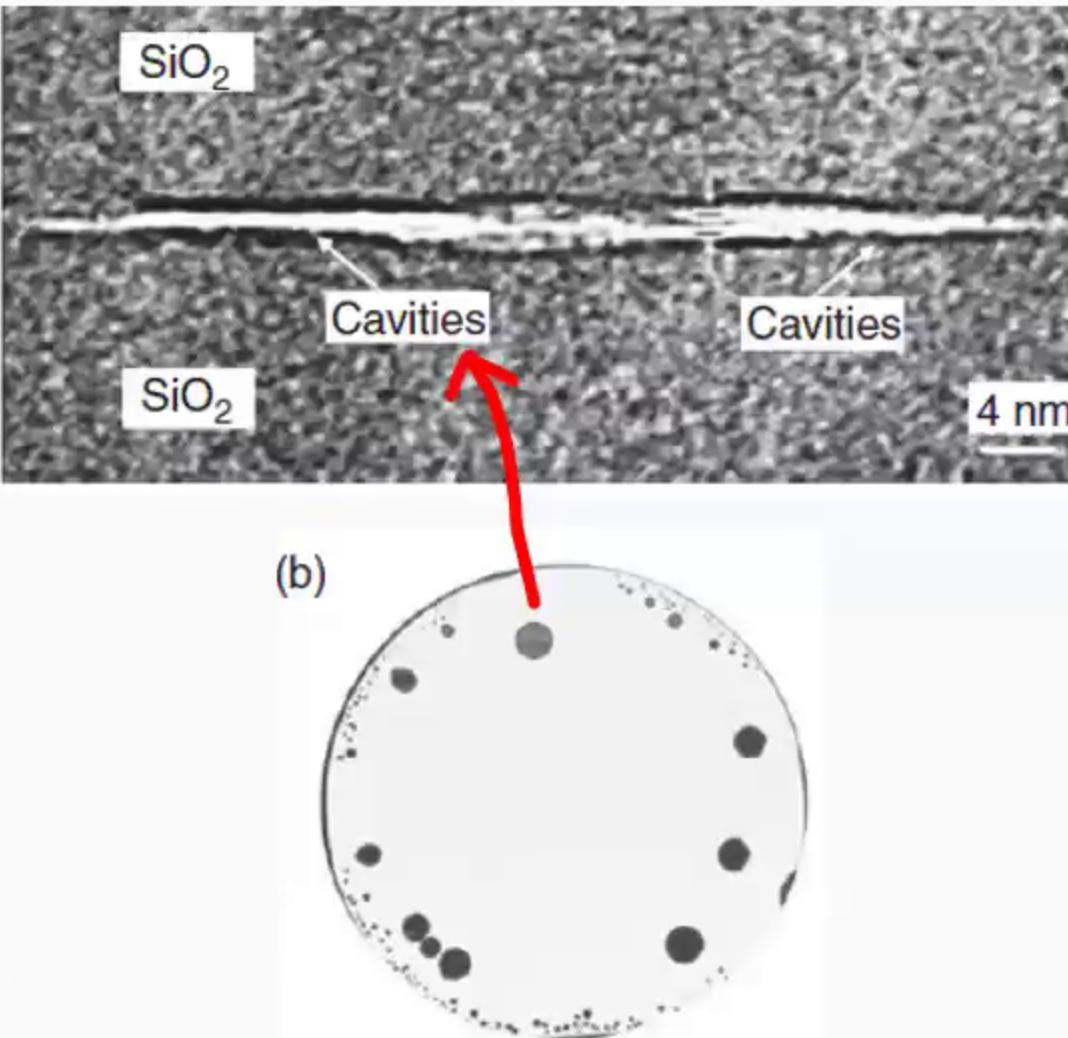
- a) 氢氣衝過SiC晶圓 SiO_2 表面(SiO_2 要事先長好)，注入內部，在某等距離處藏身，形成薄薄一片高濃度的小小扁平氫氣泡泡
- b) 晶圓用氧電漿洗去表面污垢(因為表面就是 SiO_2)
- c) 與另一晶圓親嘴黏合(300°C)
- d) 以高溫激發刀氣(>1000°C)，氫氣泡們聚集膨脹，產生超大應力，竟瞬間硬生生將晶圓劈成兩半→以氫為刀(有時候會加些他，He也)



Yang et al, "Smart-cut 6H-silicon carbide (SiC) microdisk torsional resonators with sensitive photon radiation detection," MEMS'14, pp.793-796

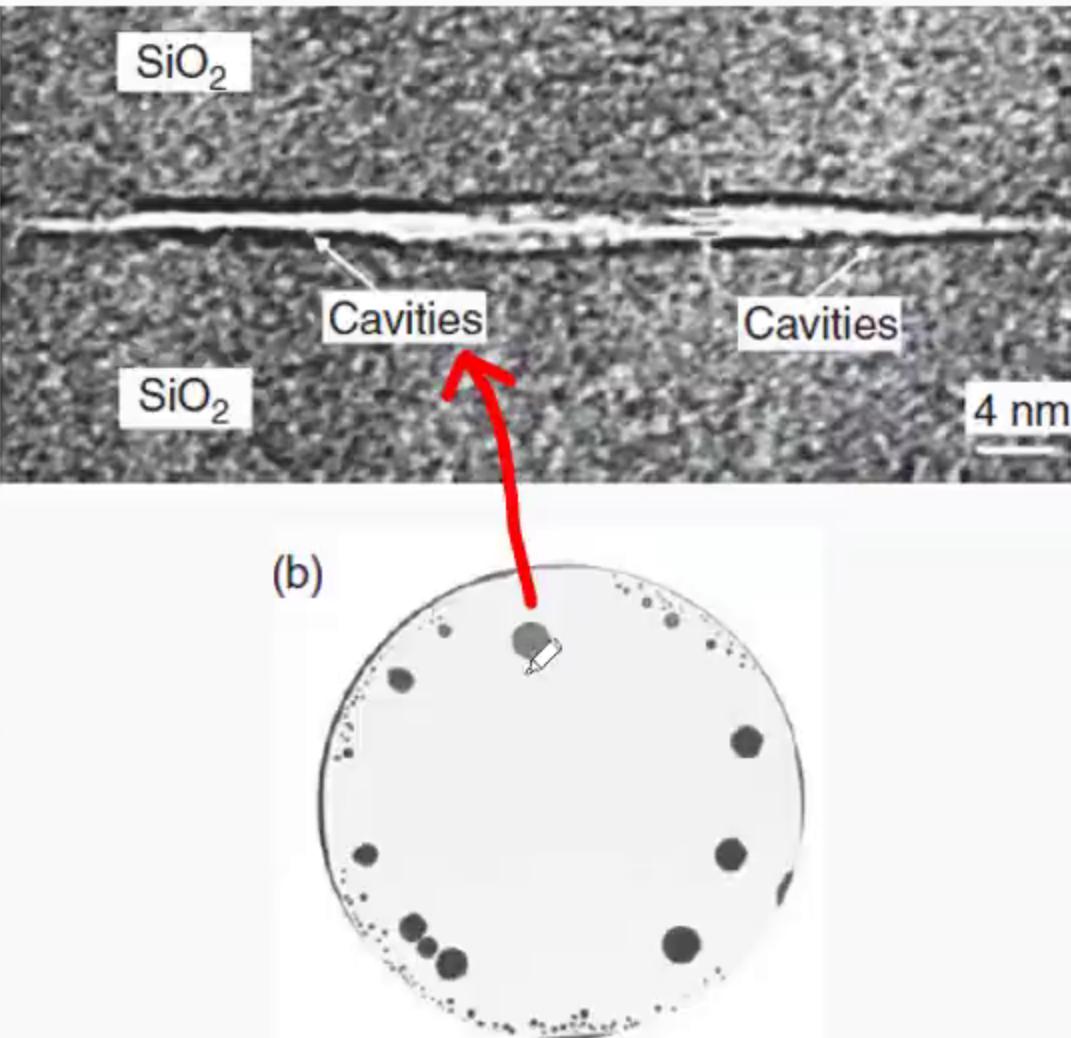
試問：親嘴前，嘴沒擦乾淨又如何？

- **解答：**產生重大缺陷
- 如右圖所示，若在前頁(b)中，晶圓用種種方法(例如氧電漿)洗去表面污垢，若沒洗乾淨有汙染
- 隨後二晶圓親嘴黏合(**bonding**)，需加熱(**300C**)，此時在污染處，會產生重大缺陷(如右圖上的**cavities**)
- 右圖下所示，在這些缺陷之上所建的電子元件們，皆將無良率可言了



試問：親嘴前，嘴沒擦乾淨又如何？

- **解答：**產生重大缺陷
- 如右圖所示，若在前頁(b)中，晶圓用種種方法(例如氧電漿)洗去表面污垢，若沒洗乾淨有汙染
- 隨後二晶圓親嘴黏合(**bonding**)，需加熱(**300C**)，此時在污染處，會產生重大缺陷(如右圖上的**cavities**)
- 右圖下所示，在這些缺陷之上所建的電子元件們，皆將無良率可言了



試問：智能氫刀制程可否用於鍶(GeOI)？

- 試問：右圖為某智能氫刀制程於GeOI，則其量產可行性如何？
- 解答：相當難
- GeO₂與SiO₂完全不是一個檔次，SiO₂乃天生麗質難自棄，是最佳氧化物之一，而GeO₂卻被量產者棄之如敝屣，因為....
- GeO₂非常不穩定，約420C就會被蒸發，見水(DI)可溶，氫刀流必須在極高溫(1000C)才能激發，所以介面很難沒有缺陷，量產良率必受嚴重影響

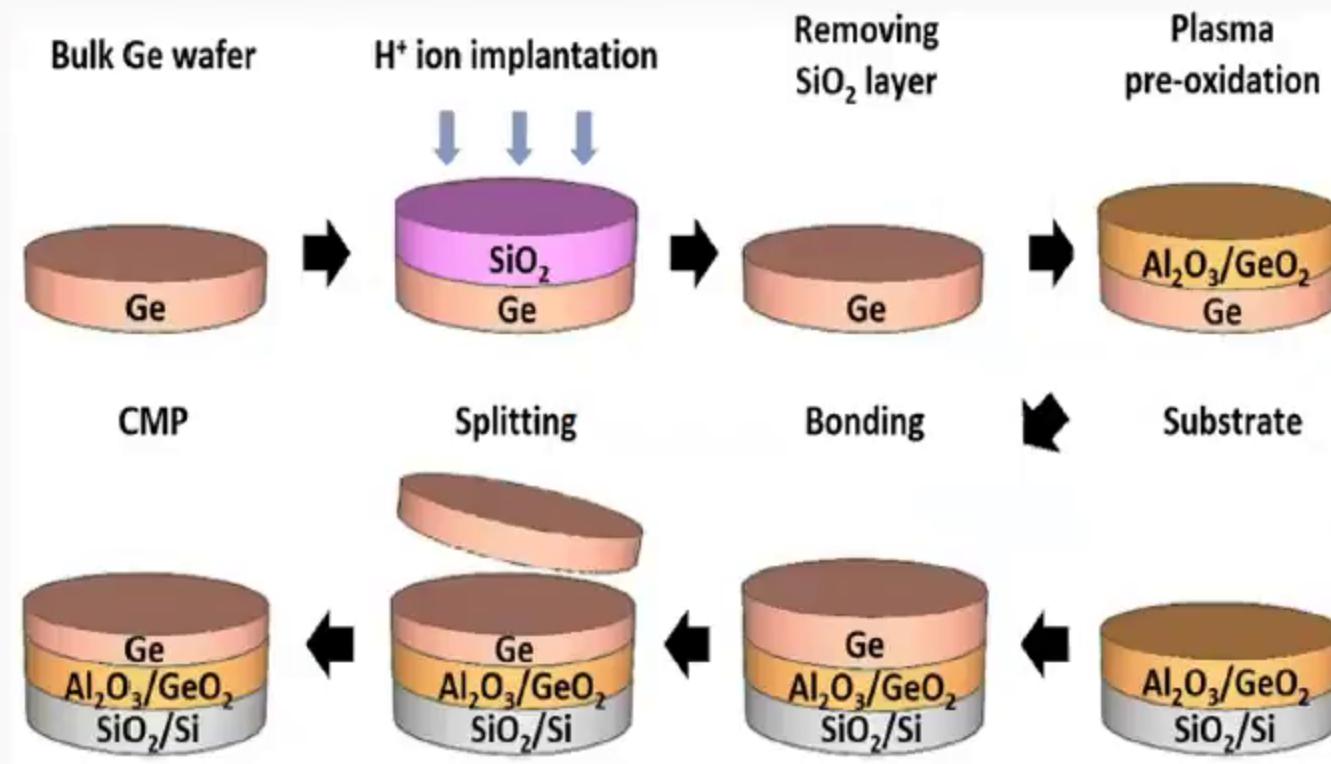


FIG. 1. Smart-cut process flow for GOI fabrication.

Effects of hydrogen ion implantation dose on physical and electrical properties of Ge-on-insulator layers fabricated by the smart-cut process, AIP Advances 10, 015045 (2020), C.-M. Lim et al

試問：智能氫刀制程可否用於鍶(GeOI)？

- 試問：右圖為某智能氫刀制程於GeOI，則其量產可行性如何？
- 解答：相當難
- GeO₂與SiO₂完全不是一個檔次，SiO₂乃天生麗質難自棄，是最佳氧化物之一，而GeO₂卻被量產者棄之如敝屣，因為....
- GeO₂非常不穩定，約420C就會被蒸發，見水(DI)可溶，氫刀流必須在極高溫(1000C)才能激發，所以介面很難沒有缺陷，量產良率必受嚴重影響

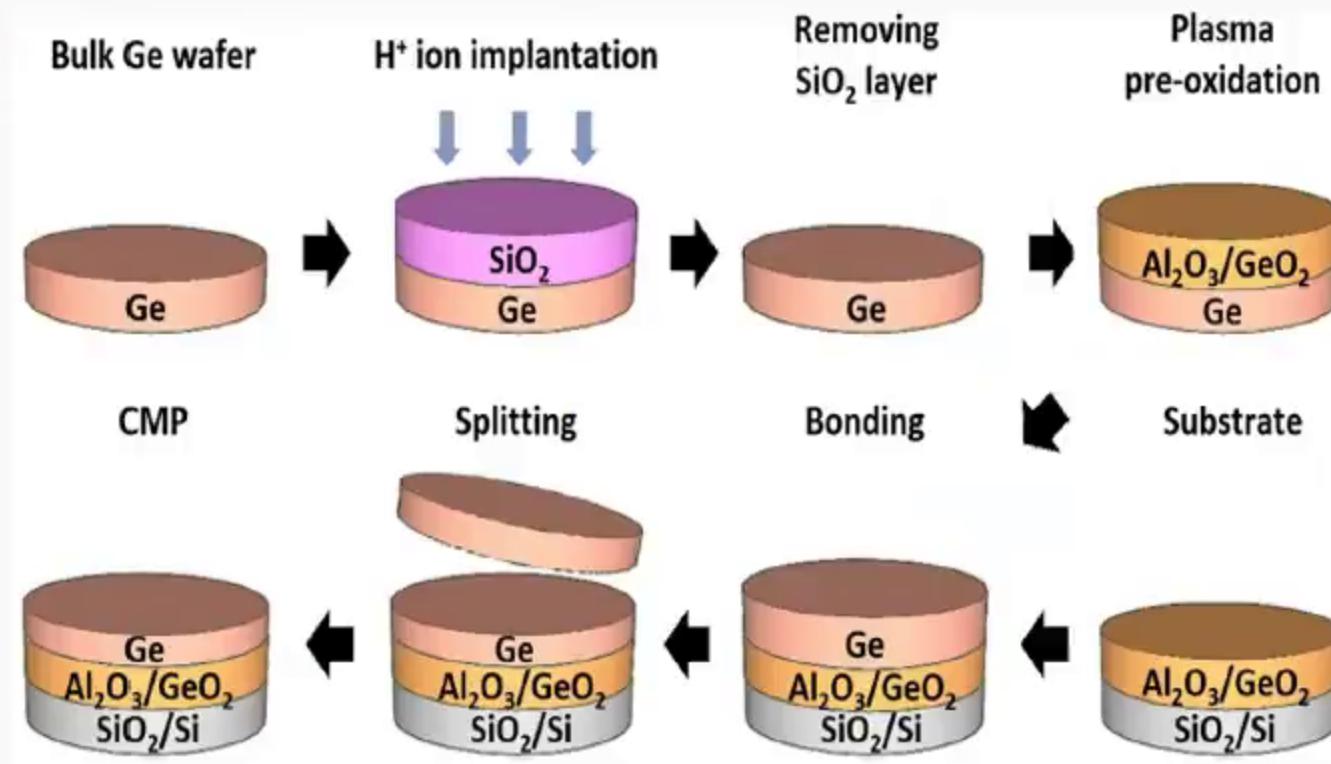


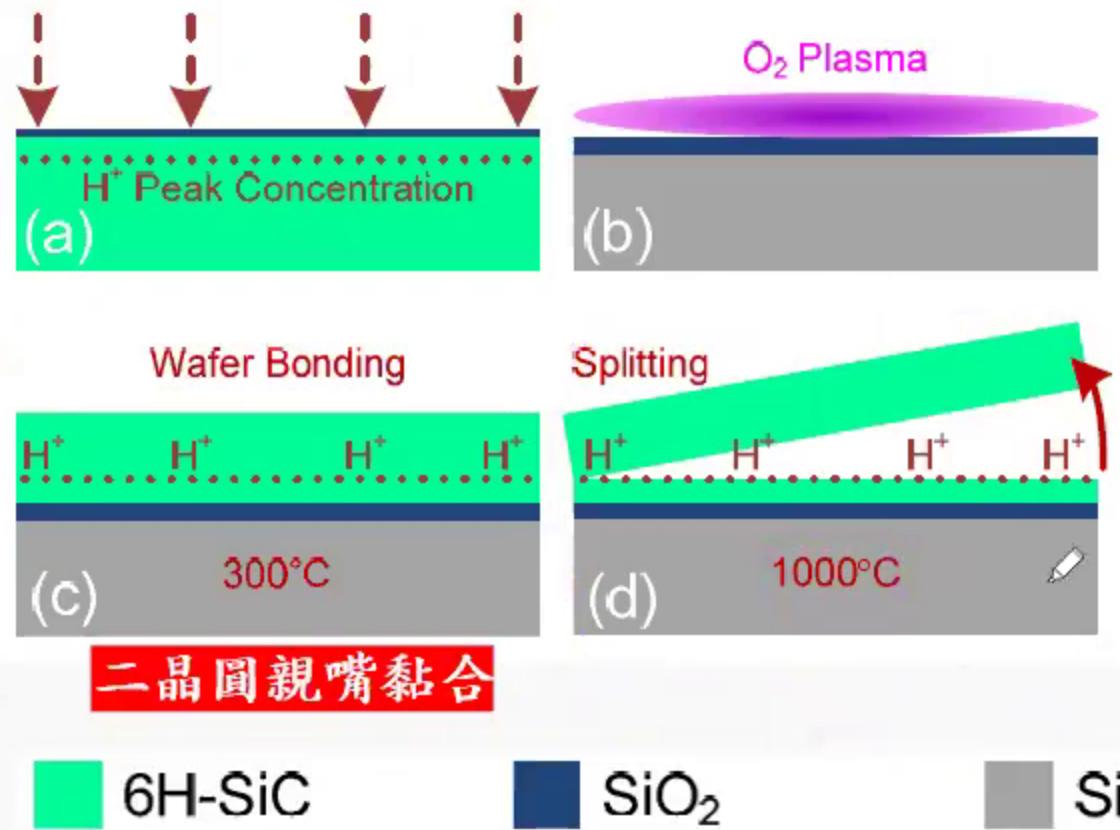
FIG. 1. Smart-cut process flow for GOI fabrication.

Effects of hydrogen ion implantation dose on physical and electrical properties of Ge-on-insulator layers fabricated by the smart-cut process, AIP Advances 10, 015045 (2020), C.-M. Lim et al

試問：何謂以氫為刀？

解答：以Smart-cut SiC右圖為例

- a) 氢氣衝過SiC晶圓 SiO_2 表面(SiO_2 要事先長好)，注入內部，在某等距離處藏身，形成薄薄一片高濃度的小小扁平氫氣泡泡
- b) 晶圓用氧電漿洗去表面污垢(因為表面就是 SiO_2)
- c) 與另一晶圓親嘴黏合(300°C)
- d) 以高溫激發刀氣(>1000°C)，氫氣泡們聚集膨脹，產生超大應力，竟瞬間硬生生將晶圓劈成兩半→以氫為刀(有時候會加些他，He也)



Yang et al, "Smart-cut 6H-silicon carbide (SiC) microdisk torsional resonators with sensitive photon radiation detection," MEMS'14, pp.793-796

試問: InPOSi 的缺陷密度為何? 可否量產?

- 最近(2022), Ghyselen提出以智能氬刀制程產出InP on SOI的InPOSi, 看起來很是厲害
- 解答: 量產還言之過早
- 右图大小約 $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$, 故面積是為 $9\mu\text{m}^2$, 且無任何缺陷, 所以缺陷密度(DD, defect density)可估計必 $< 1/(9\mu\text{m}^2) \rightarrow < 10^7/\text{cm}^2$
- 目前硅晶圓缺陷密度要求非常嚴格為 $\text{DD} < 1/\text{cm}^2$ (or $0.1/\text{cm}^2$)
- 所以革命尚未成功!

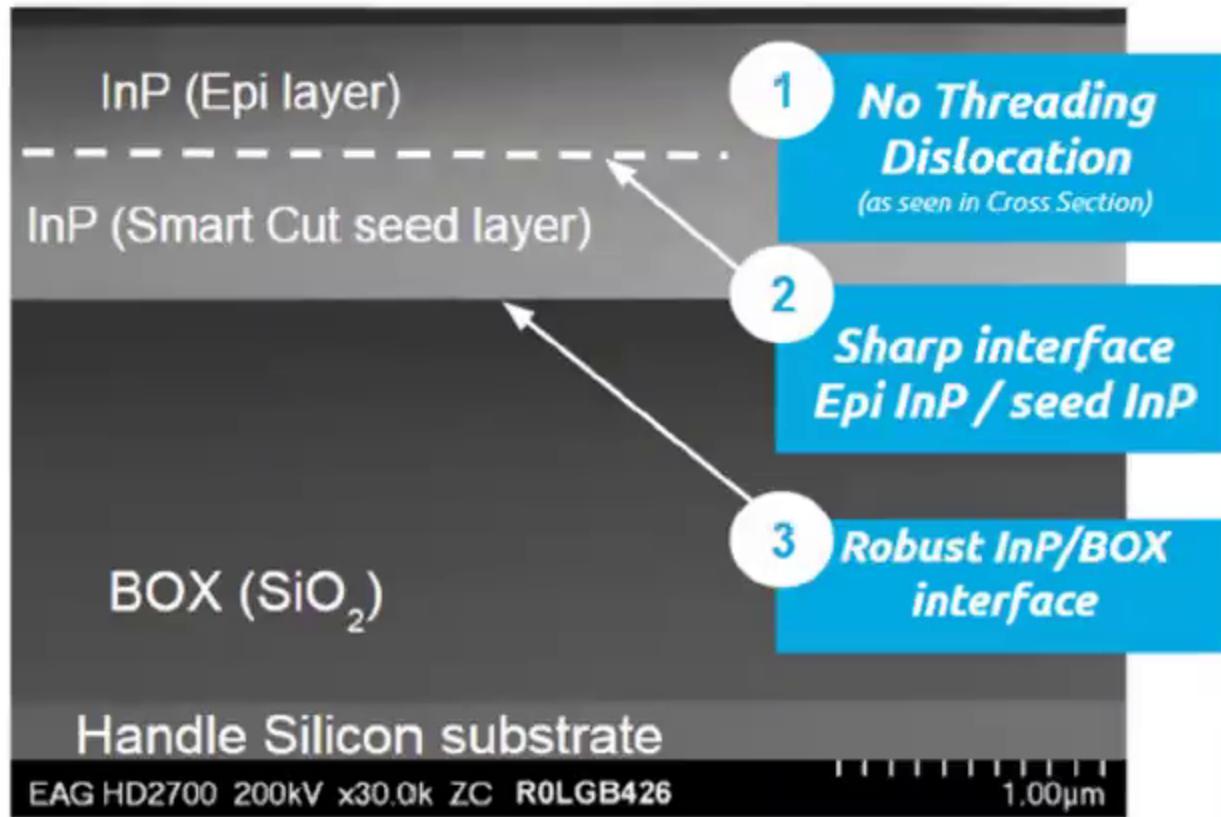


Figure 6. Cross-sectional TEM of a 100 mm InPOSi substrate after $\approx 0.5\mu\text{m}$ InP film overgrowth by MOCVD.

Large-Diameter III-V on Si Substrates by the Smart Cut Process: The 200 mm InP Film on Si Substrate Example, Ghyselen et al, Phys. Status Solidi A 2022, 219, 2100543

試問: InPOSi 的缺陷密度為何? 可否量產?

- 最近(2022), Ghyselen提出以智能氬刀制程產出InP on SOI的InPOSi, 看起來很是厲害
- 解答: 量產還言之過早
- 右圖大小約 $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$, 故面積是為 $9\mu\text{m}^2$, 且無任何缺陷, 所以缺陷密度(DD, defect density)可估計必 $< 1/(9\mu\text{m}^2) \rightarrow < 10^7/\text{cm}^2$
- 目前硅晶圓缺陷密度要求非常嚴格為 $\text{DD} < 1/\text{cm}^2$ (or $0.1/\text{cm}^2$)
- 所以革命尚未成功!

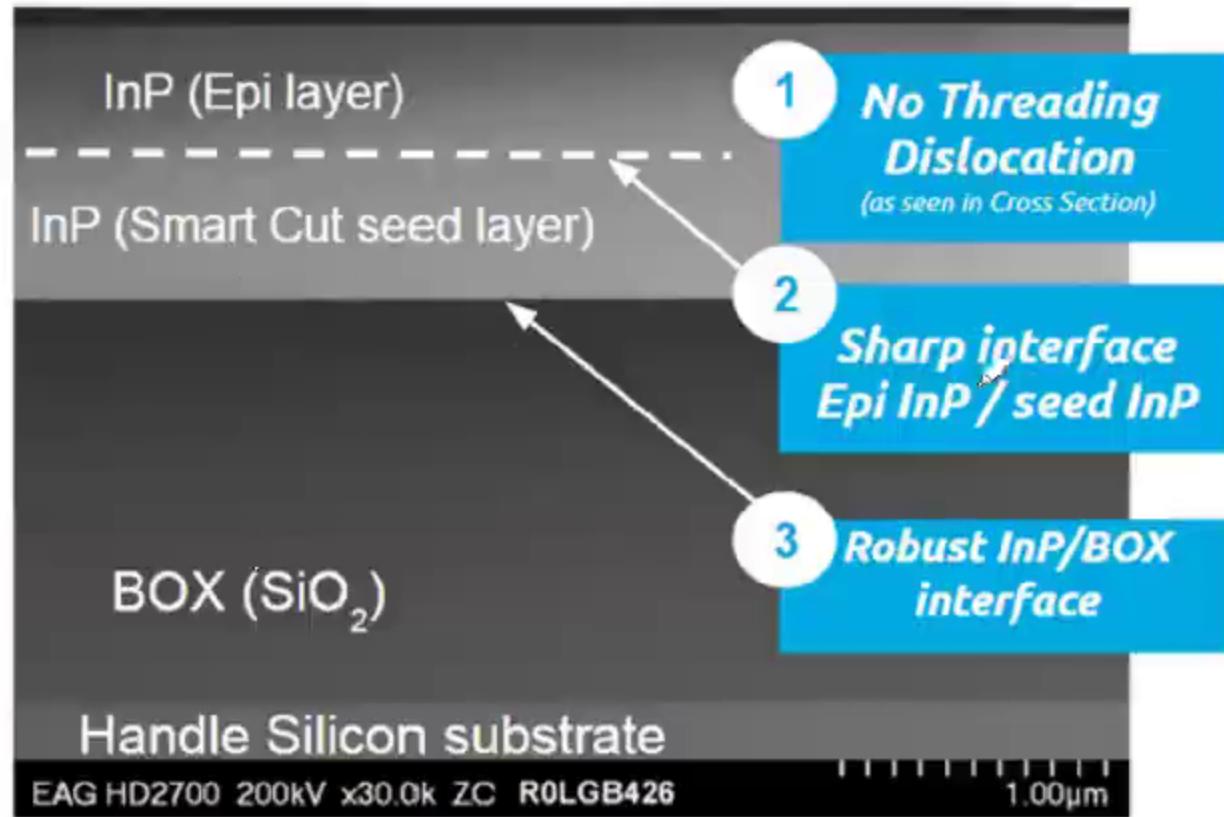


Figure 6. Cross-sectional TEM of a 100 mm InPOSi substrate after $\approx 0.5\mu\text{m}$ InP film overgrowth by MOCVD.

Large-Diameter III-V on Si Substrates by the Smart Cut Process: The 200 mm InP Film on Si Substrate Example, Ghyselen et al, Phys. Status Solidi A 2022, 219, 2100543