

# 芯片成王敗寇篇 -烤火雞還是浴火鳳凰？

**1nm 2D device vs HVM**

王不老說半导

# 芯片成王敗寇篇

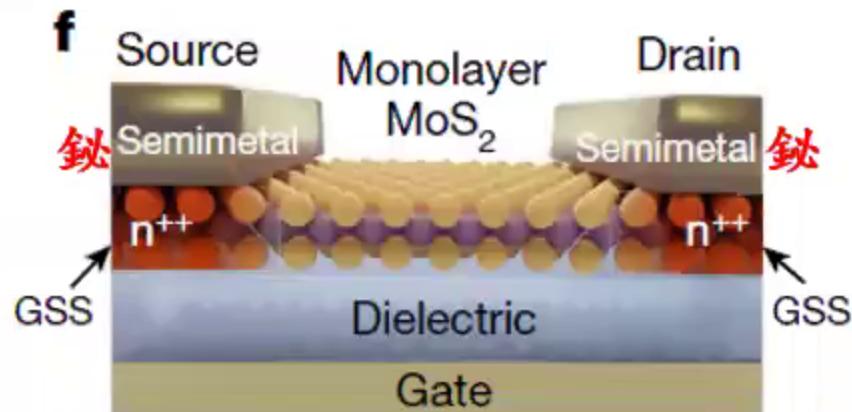
## -烤火雞還是浴火鳳凰？

**1nm 2D device vs HVM**

王不老說半导

# 1奈米2D半导

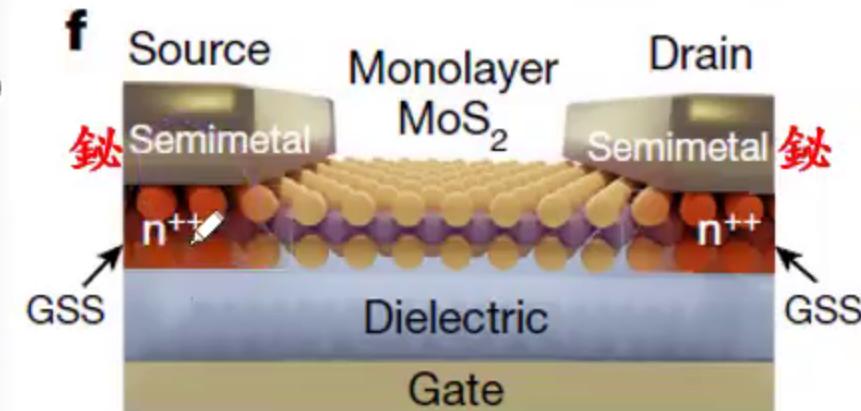
- May 12, 2021: Nature 刊出TSMC/NTU/MIT 1奈米2D 半导論文，宣称若以此牛逼新半金屬材料-鉍(bismuth) 為界面(如右图)，則其与半导体(单层过渡金属 MoS<sub>2</sub>) 之間會有一種脫胎换骨的全新接触
  - 此界面原來有天生缺陷(叫做米格斯，MIGS)，也因 此有了高电阻(因为电子想要流过就会被吃掉)
  - 然而此非常牛逼(鉍，音B)的加入，生出一種特殊的简 并态(degenerates)，竟然充分抑制了米格斯
  - 原有的界面能階障礙(肖特基势垒，Schottky barrier)  $\phi_b$ ，見下一页竟然不見了，變成了一種類似金属与 金属之间的接触，所有电阻消失了
  - 我們叫这种接触為欧姆接触(Ohmic contact)
- 以下我们就来讨论这项技术的可行性



(鉍，音B)真是牛逼

# 1奈米2D半导

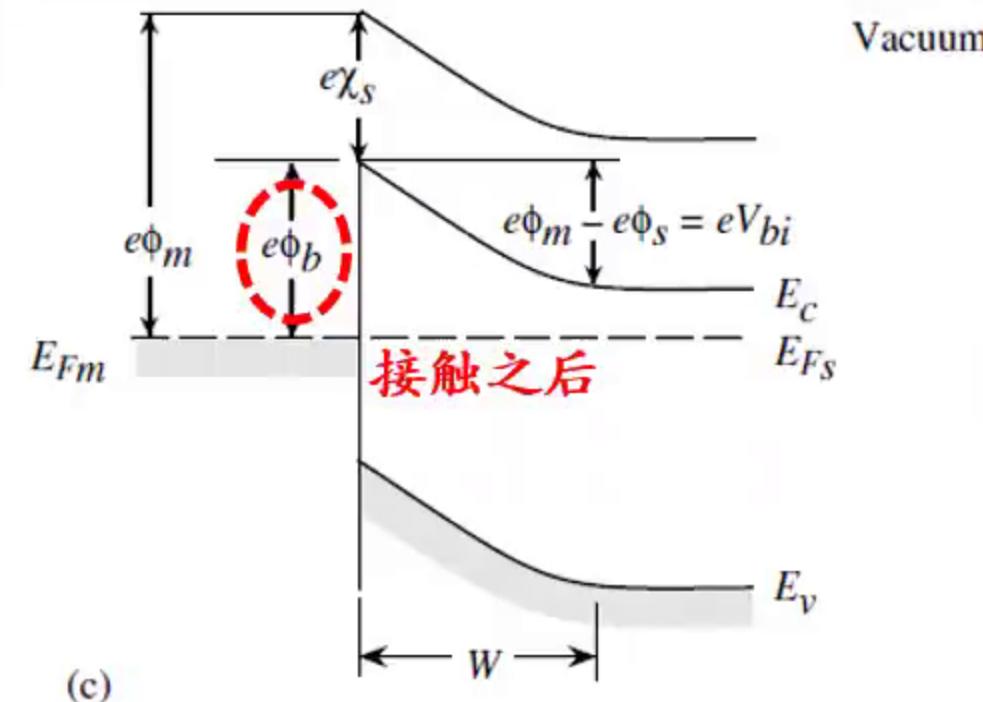
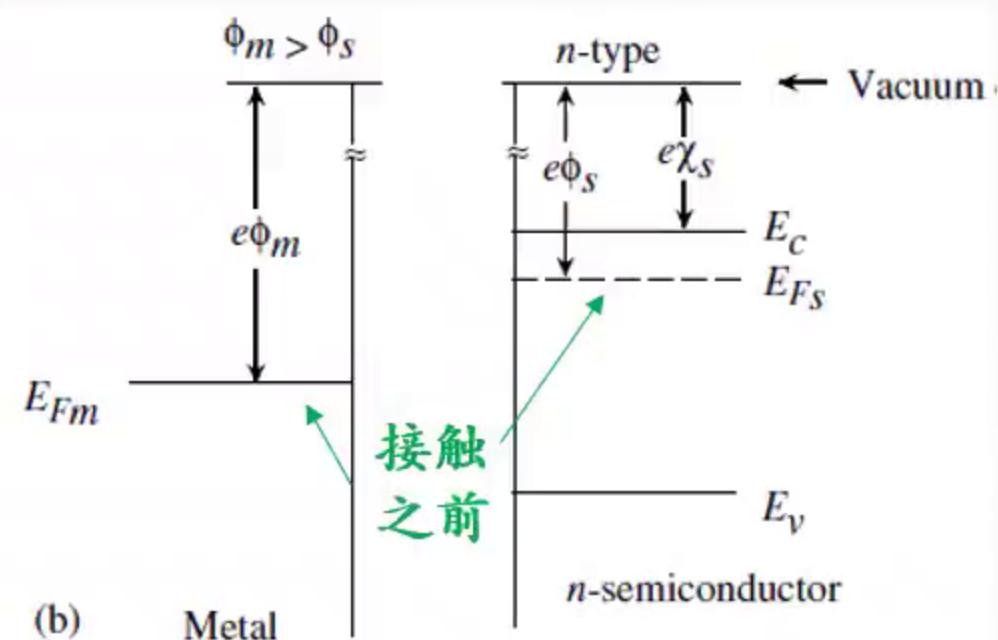
- May 12, 2021: Nature 刊出TSMC/NTU/MIT 1奈米2D半导論文，宣称若以此牛逼新半金屬材料-鉍(bismuth)為界面(如右图)，則其与半导体(单层过渡金属 MoS<sub>2</sub>)之间會有一種脱胎换骨的全新接触
  - 此界面原來有天生缺陷(叫做米格斯，MIGS)，也因此有了高电阻(因为电子想要流过就会被吃掉)
  - 然而此非常牛逼(鉍，音B)的加入，生出一種特殊的简并态(degenerates)，竟然充分抑制了米格斯
  - 原有的界面能階障礙(肖特基势垒，Schottky barrier)  $\phi_b$ ，見下一页竟然不見了，變成了一種類似金属与金属之间的接触，所有电阻消失了
  - 我們叫这种接触為欧姆接触(Ohmic contact)
- 以下我们就来讨论这项技术的可行性



(鉍，音B)真是牛逼

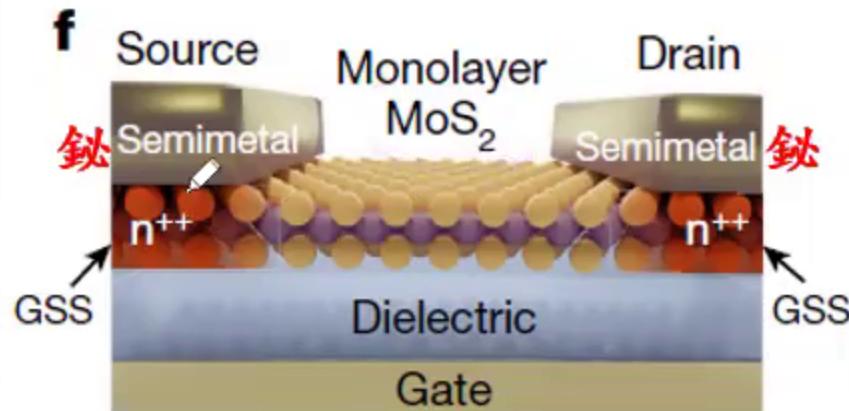
# 回味：“半导皇后”與“金屬渣男”的亲密接触

- 接触之前:  $E_{fM}$  與  $E_{Fs}$ , 风马牛不相干
- 接触之后: 皇后色诱渣男, 渣男心甘情愿與她齐心:  $E_{Fs} = E_{fM}$
- 接触之后: 然而渣男與皇后之間仍有芥蒂, 彼此界面有一能階障礙( $\phi_b$ , 如右下图), 这个障碍就使得电子无法由金属直接传送到半导体, 所以是一个巨大的电  
阻障碍, 它有一个特别的名字叫做**肖特基势垒(Schottky barrier)**



# 1奈米2D半导

- May 12, 2021: Nature 刊出TSMC/NTU/MIT 1奈米2D半导論文，宣称若以此牛逼新半金屬材料-鉍(bismuth)為界面(如右图)，則其与半导体(单层过渡金属 MoS<sub>2</sub>)之间會有一種脱胎换骨的全新接触
  - 此界面原來有天生缺陷(叫做米格斯，MIGS)，也因此有了高电阻(因为电子想要流过就会被吃掉)
  - 然而此非常牛逼(鉍，音B)的加入，生出一種特殊的简并态(degenerates)，竟然充分抑制了米格斯
  - 原有的界面能階障礙(肖特基势垒，Schottky barrier)  $\phi_b$ ，見下一页竟然不見了，變成了一種類似金属与金属之间的接触，所有电阻消失了
  - 我們叫这种接触為欧姆接触(Ohmic contact)
- 以下我们就来讨论这项技术的可行性



(鉍，音B)真是牛逼

# 烤火雞 VS 浴火鳳凰

- 烤火鸡烤箱: 400F/200度C

- 解冻后的火鸡洗净，把鸡脖子，鸡内脏拿出备用。2加仑的冷水加入2杯盐。加入火鸡，放在阴凉处4小时。火鸡从盐水中捞出，冲洗干净，用厨房纸巾抹干

- 浴火凤凰溫度: 750-1200C

- 郭沫若诗歌《凤凰涅槃》中的凤凰，其实是指西方传说中的不死鸟 (Phoenix)，满五百岁后，集香木自焚(右下表)，复从死灰中更生，鲜美异常(很奇怪，涅槃目的不是給人吃)



<https://baike.baidu.com/item/%E7%83%A4%E7%81%AB%E9%B8%A1>



燃燒材質	火焰溫度(°C)
木炭火焰	750至1200
甲烷 (天然氣)	900至1500
丙烷噴燈	1200至1700
蠟燭火焰	至1100 (主要)，熱點可能是1300-1400
鎂	1900至2300
氫噴燈	至2000
乙炔噴燈	至2300
氧-乙炔	至3300
回燃火焰峰	1700至1950
本生燈火焰	900至1600 (取決於空氣閥)
普通打火機火焰	280至500

# 芯片製程是烤火雞還是浴火鳳凰？

- 我们以IBM建议的2纳米制程来看

(a) 假设TSMC/MIT 2D半导1奈米成功，所需的是烤火雞低温(<270C)

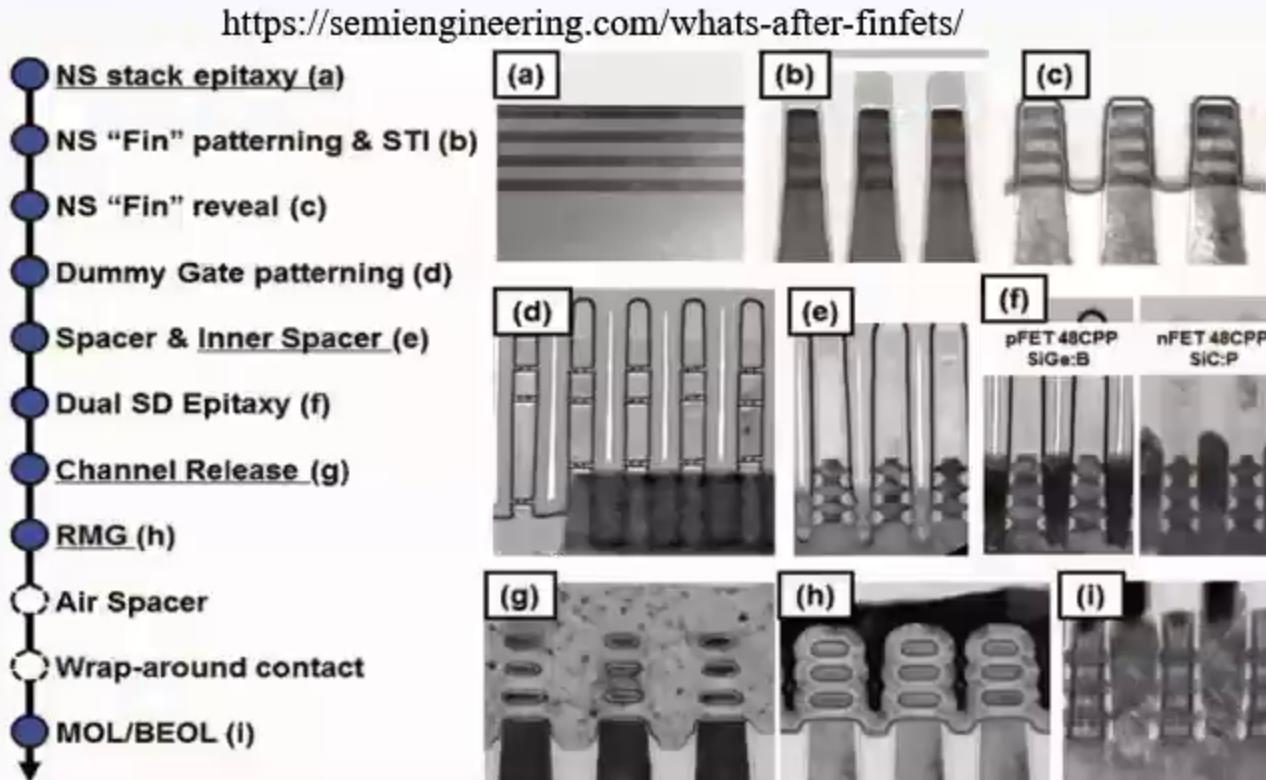
然而其他步骤如下：

(b) STI 與 (e) Spacer: 电晶机体之间的绝缘体，成分就是高密度 SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>，所需的化学气相沉积(CVD)温度是800到1000C，总共约2小时左右

(f) SD epitaxy: 电子电洞储存的地方，所需的(CVD)温度是700到900C，总共约2小时左右

(h): RMG: 有高温退火，ms-1250C

(i): MOL/BEOL: 属十个步骤(3-400C)，总共约好几十个小时



芯片製程不是烤火雞  
而是浴火鳳凰

# 芯片製程是烤火雞還是浴火鳳凰？

- 我们以IBM建议的2纳米制程来看

(a) 假设TSMC/MIT 2D半导1奈米成功，所需的是烤火雞低温(<270C)

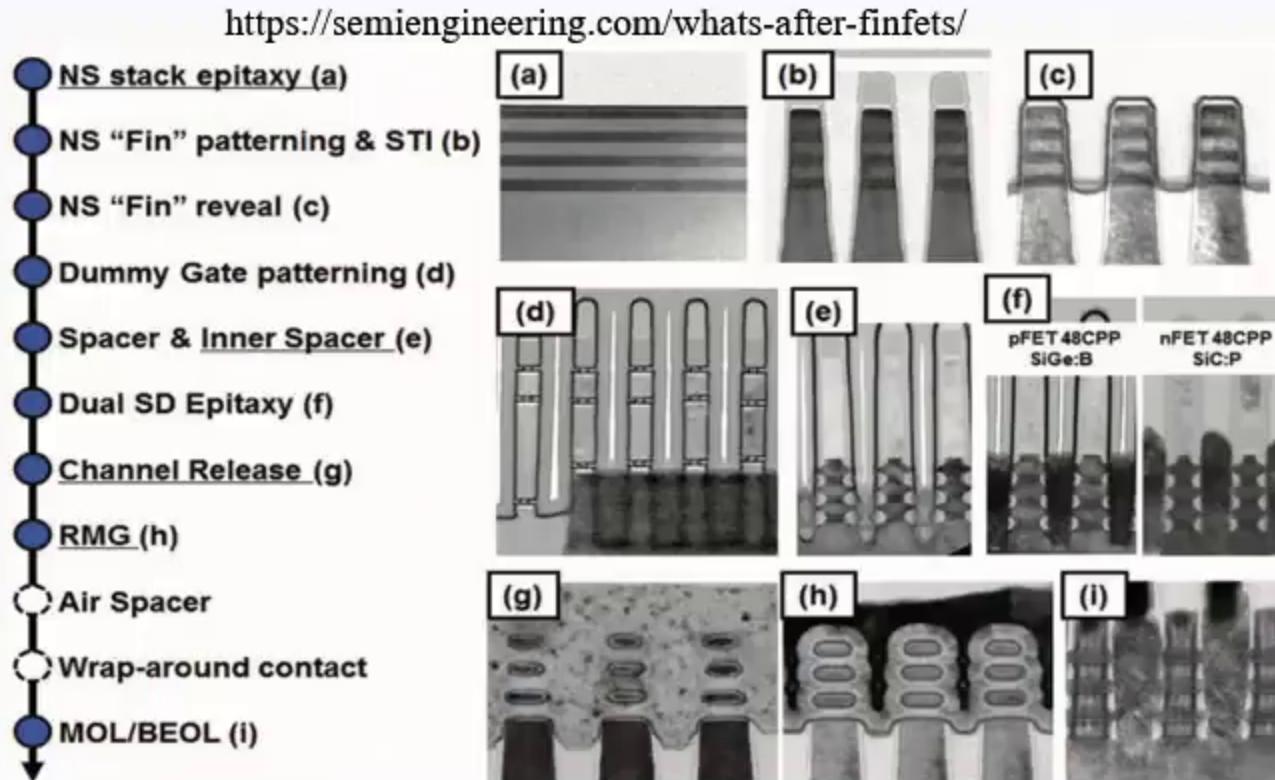
然而其他步骤如下：

(b) STI 與 (e) Spacer: 电晶机体之间的绝缘体，成分就是高密度 SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>，所需的化学气相沉积(CVD)温度是800到1000C，总共约2小时左右

(f) SD epitaxy: 电子电洞储存的地方，所需的(CVD)温度是700到900C，总共约2小时左右

(h): RMG: 有高温退火，ms-1250C

(i): MOL/BEOL: 属十个步骤(3-400C)，总共约好几十个小时



芯片製程不是烤火雞  
而是浴火鳳凰

# 芯片製程是烤火雞還是浴火鳳凰？

- 我们以IBM建议的2纳米制程来看

(a) 假设TSMC/MIT 2D半导1奈米成功，所需的是烤火雞低温(<270C)

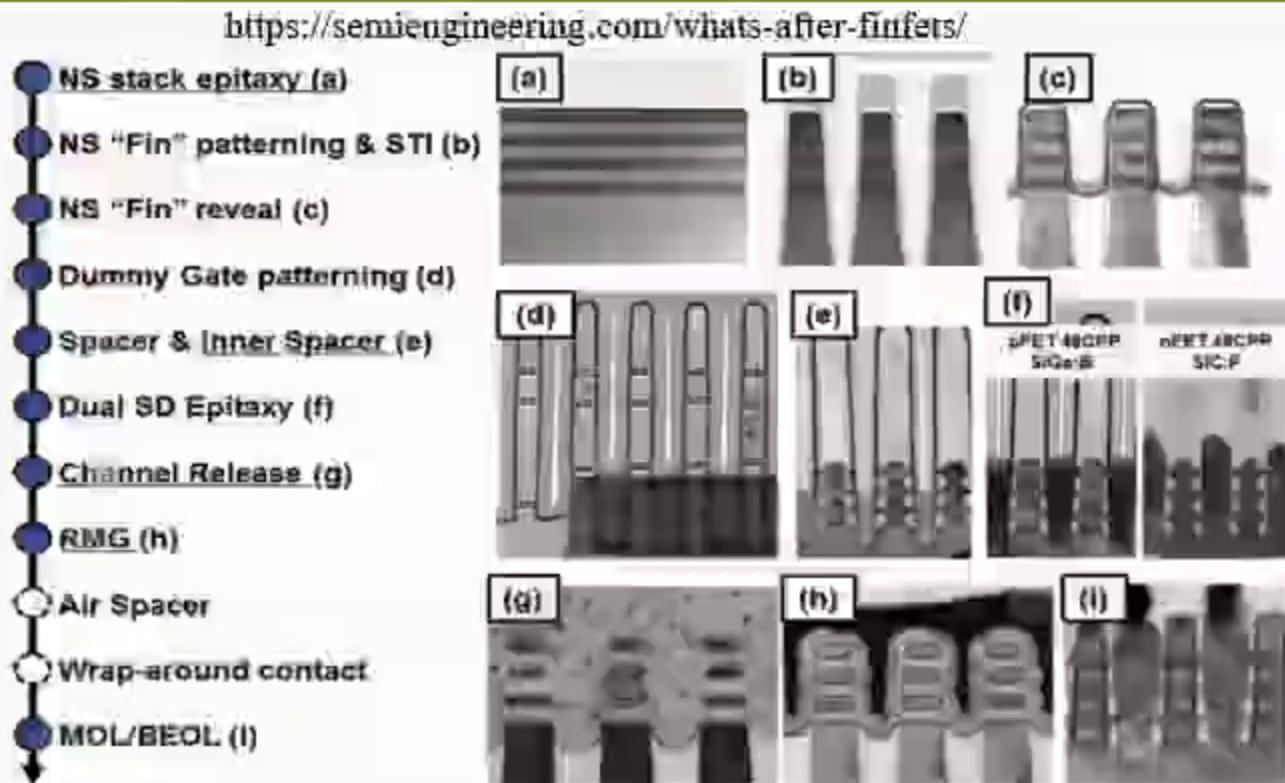
然而其他步骤如下：

(b) STI 與 (e) Spacer: 电晶机体之间的绝缘体，成分就是高密度 SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>，所需的化学气相沉积(CVD)温度是800到1000C，总共约2小时左右

(f) SD epitaxy: 电子电洞储存的地方，所需的(CVD)温度是700到900C，总共约2小时左右

(h): RMG: 有高温退火，ms-1250C

(i): MOL/BEOL: 属十个步骤(3-400C)，总共约好几十个小时



芯片製程不是烤火雞  
而是浴火鳳凰

# 芯片製程是烤火雞還是浴火鳳凰？

- 我们以IBM建议的2纳米制程来看

(a) 假设TSMC/MIT 2D半导1奈米成功，所需的是烤火雞低温(<270C)

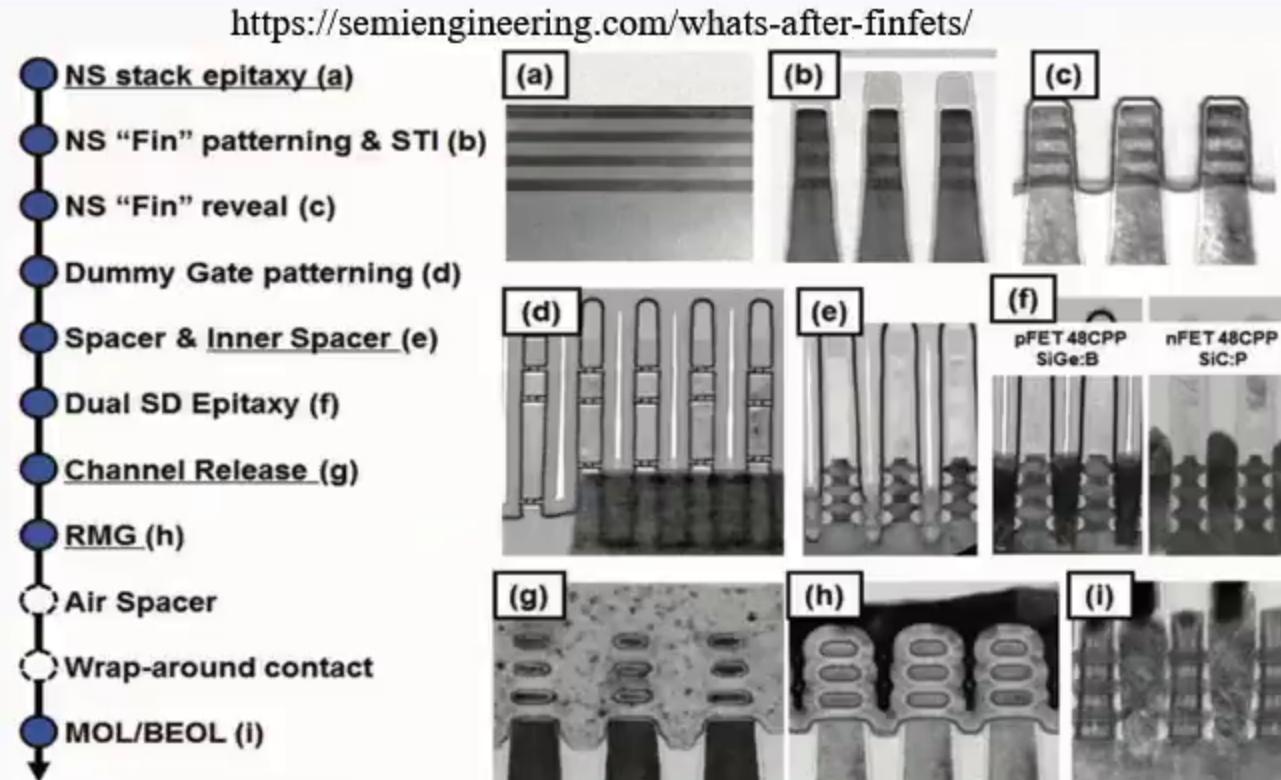
然而其他步骤如下：

(b) STI 與 (e) Spacer: 电晶机体之间的绝缘体，成分就是高密度 SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>，所需的化學氣相沉積 (CVD) 温度是800到1000C，總共約2小时左右

(f) SD epitaxy: 电子电洞储存的地方，所需的 (CVD) 温度是700到900C，總共約2小时左右

(h): RMG: 有高温退火，ms-1250C

(i): MOL/BEOL: 属十个步骤(3-400C)，总共约好几十个小时



芯片製程不是烤火雞  
而是浴火鳳凰

# 芯片成王敗寇：牛B的鉍是隻烤火雞

已知：鉍(Bi)在硅中的擴散係數(如右圖)為：

$$D_{Bi} = 2.00 \times 10^{-4} \exp(-2.50 \text{ eV}/kT)$$

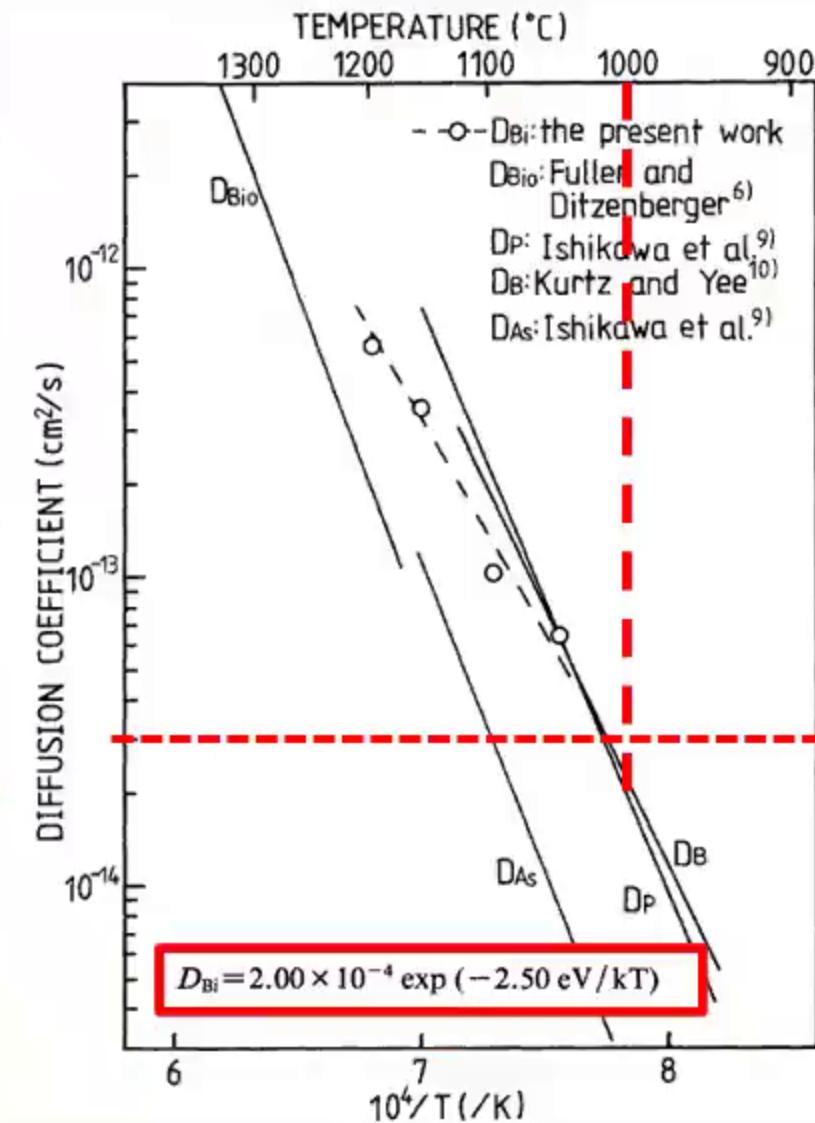
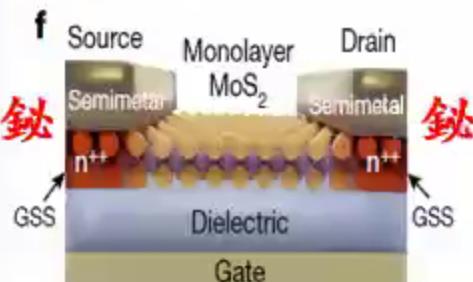
試問：牛B的鉍在1000C硅裡，一分鐘可以跑多遠？

解答：鉍在1000C硅裡的擴散係數為：

- $D_{Bi}(1000C) = 3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{sec}$
- 鉍在1000C硅裡，一分鐘可以跑  $= \sqrt{Dt} = \sqrt{3 \times 10^{-14} \times 60} = 13.4\text{nm}$
- 然而1奈米2D半導的厚度  $< 1\text{nm}$
- 所以鉍層在數十秒之後，就消失了

芯片成王敗寇：

- 牛B的鉍是隻烤火雞，永遠無法浴火鳳凰



# 芯片成王敗寇：牛B的鉍是隻烤火雞

已知：鉍(Bi)在硅中的擴散係數(如右圖)為：

$$D_{Bi} = 2.00 \times 10^{-4} \exp(-2.50 \text{ eV}/kT)$$

試問：牛B的鉍在1000C硅裡，一分鐘可以跑多遠？

解答：鉍在1000C硅裡的擴散係數為：

- $D_{Bi}(1000C) = 3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{sec}$
- 鉍在1000C硅裡，一分鐘可以跑  $= \sqrt{Dt} = \sqrt{3 \times 10^{-14} \times 60} = 13.4\text{nm}$
- 然而1奈米2D半導的厚度  $< 1\text{nm}$
- 所以鉍層在數十秒之後，就消失了

芯片成王敗寇：

- 牛B的鉍是隻烤火雞，永遠無法浴火鳳凰

