



電漿-現代與未來科技發展的隱形發動機

吳宗信

氣熱與電漿實驗室

國立交通大學機械工程學系

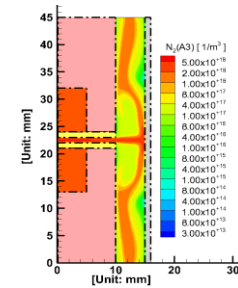
website: <http://www.me.nctu.edu.tw/appl>

e-mail: chongsin@faculty.nctu.edu.tw

週日科學大師

Kaohsiung, Taiwan

April 14, 2013





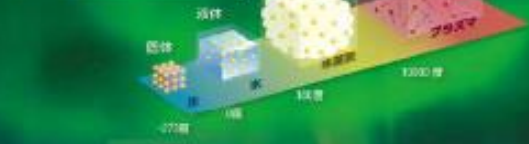
內容

- 甚麼是電漿？如何產生？
- 電漿的分類
- 「低溫（冷）電漿」的複雜性
- 「低溫電漿」在現代科技發展的應用
 - 半導體製程技術
 - 照明技術
 - 雷射光源技術
 - 顯示技術
 - 航太技術
 - 生物醫學技術（電漿醫學）
 - 能源技術
- 未來展望

甚麼是電漿？如何產生？

**為什麼
宇宙中幾乎都是電漿？**

太陽是宇宙中最大的中心，內部溫度極高，物質處於電漿狀態。在電漿狀態下，物質的原子核與電子分離，形成自由電子和離子。這就是為什麼宇宙中幾乎都是電漿的原因。



電漿也是電漿!!

太陽風(電漿)是來自太陽的電漿粒子流。它由自由電子和離子組成，以極高的速度向外擴散。

閃電也是電漿!!

閃電是空氣中的電漿。當電荷在空氣中積聚到一定程度時，會產生閃電，形成瞬時的電漿通道。

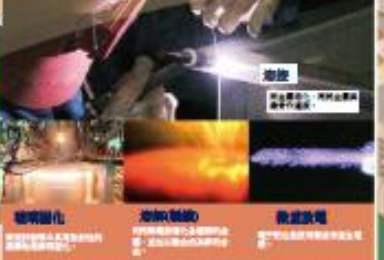
離身邊最近的電漿

空氣中、電漿作為光源，在各種情況下都能被觀察到。例如，霓虹燈、熾熱的氣體等。



用電漿來產生熱!

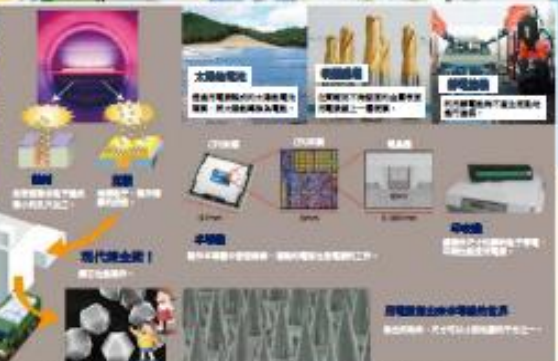
電漿加熱電漿的方式是「電場加熱」。通過電場的作用，電漿中的粒子獲得能量，產生高溫。



PLASMA 未來的應用

什麼是電漿?

電漿是物質第四態之一。當溫度升高到一定程度時，物質的原子核與電子分離，形成自由電子和離子。這就是電漿。電漿具有許多獨特的性質，如高導電性、高熱穩定性等。



為什麼電漿有用?

電漿中含有電子、離子以及激發態原子。這些粒子具有極高的能量，可以產生各種化學反應。因此，電漿在許多領域都有廣泛的應用，如材料加工、環境治理、醫療等。



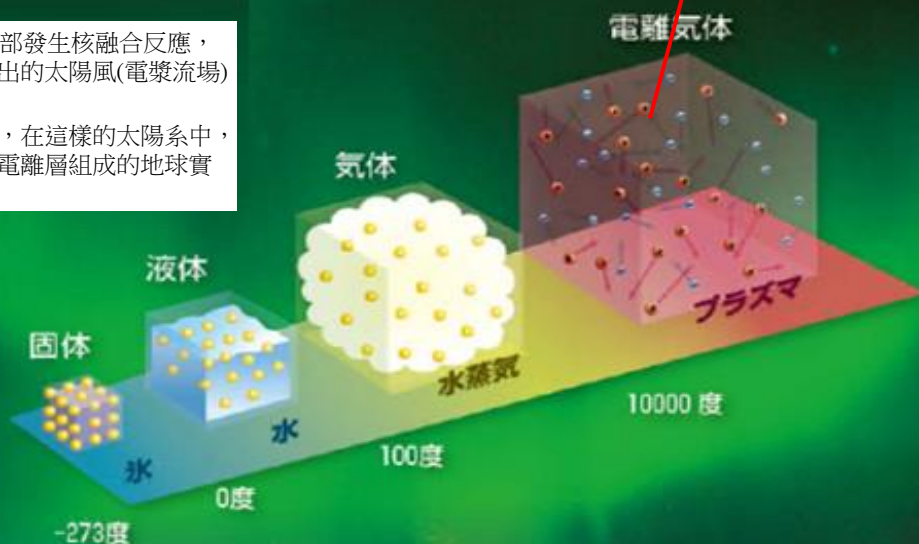
Plasma and Its Applications

(日本文部科學省 <http://www.mext.go.jp>)

為什麼 宇宙中幾乎都是電漿？

太陽高達1,600萬度的中心內部發生核融合反應，並產生電漿。這場從太陽刮出的太陽風(電漿流場)蔓延至整個太陽系。

太陽系質量99%以上是電漿，在這樣的太陽系中，由固體、液體、氣體以至於電離層組成的地球實在是一顆奇蹟的星球。



PLA

什麼是電漿？

電漿是物質加熱到高溫之後的型態。冰加熱後會從冰(固體)變成水(液體)再變成水蒸氣(氣體)，此即物質的三態變化，那水蒸氣再加熱會變成什麼呢?水分子是由帶間距的原子組成，原子又能分成離子跟電子，此過程即為“電離”而電離現象能產生含有電子和離子的游離氣體(電漿)。

電漿是由高溫(平均動能高)的輕質量電子，以及重質量的質子組成的氣體，分子有往低溫降的趨勢，而氣體經過加熱或其他方法後，其中的電子會經過高速碰撞而被激發；另外，用強光打氣體也能激發出電漿。

極光也是電漿!!

太陽風(電漿流)激發高空電離層的空氣分子並因而發光，造就了神祕的極光。

閃電也是電漿!!

打雷時空氣被游離，電漿因而產生。

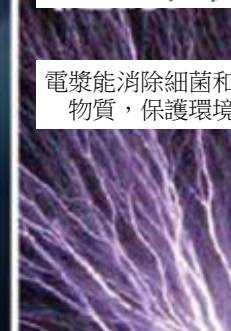


電漿電視

螢光燈管

生態和環境

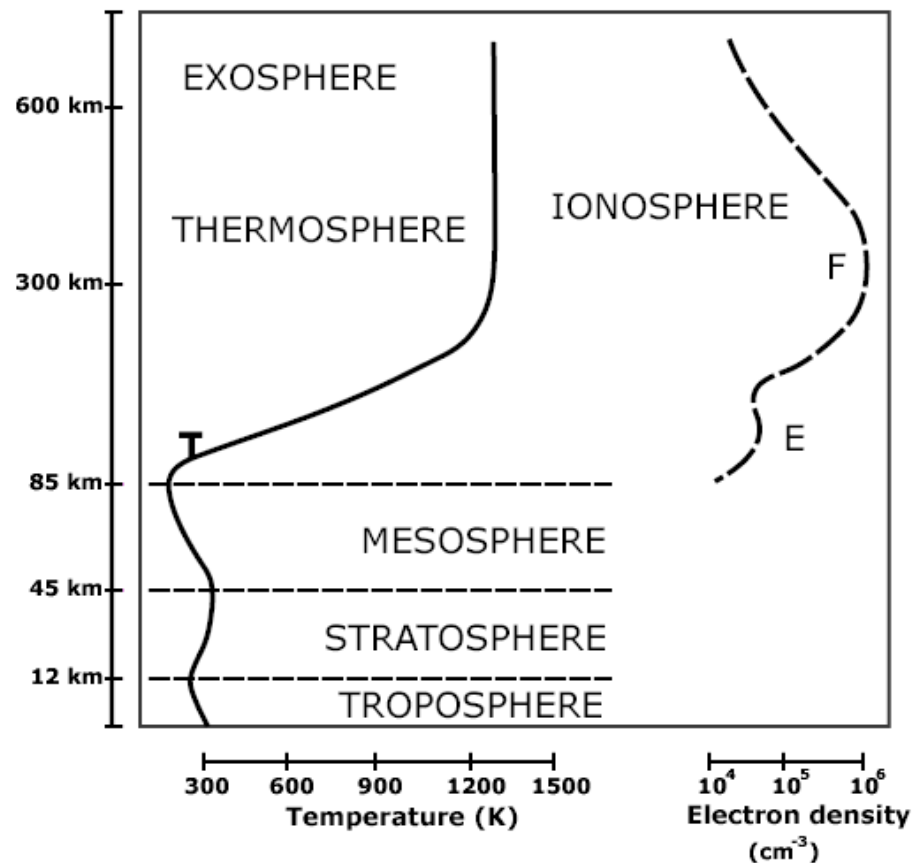
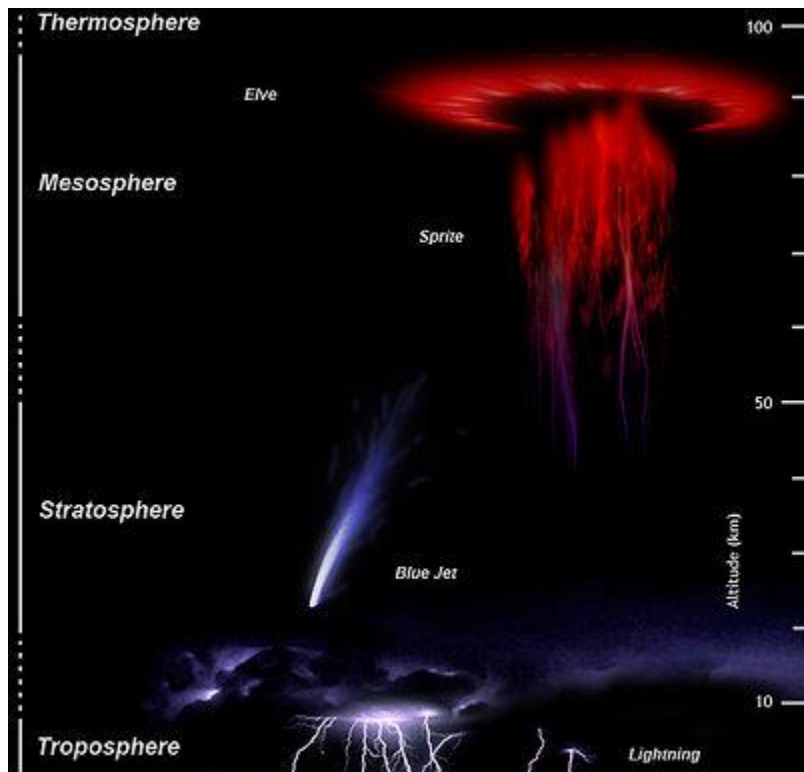
電漿能消除細菌和物質，保護環境



離自邊



More about 自然電漿



離身邊最近的電漿

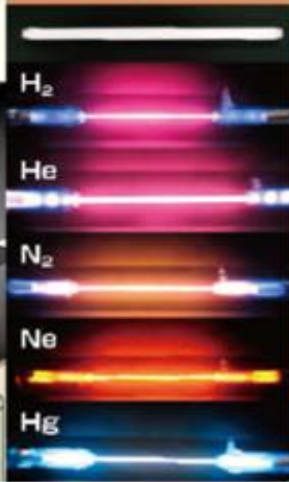
就像火，電漿作為光源被用在各種照明用途上。



點火裝置



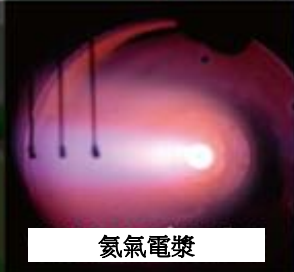
螢光燈管



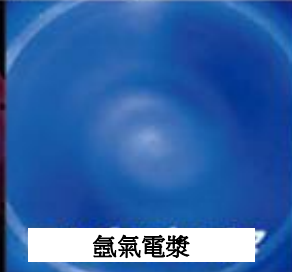
車頭大燈



氦氣電漿



氫氣電漿



汞蒸氣電漿



氖氣電漿



用電漿來產生熱！

最初使用電漿熱能的方式是用"火"。因為火的使用，人猿開始進化發展文明。



5000度！？

電漿中的電子受到電場加速作用，能高達數千度，能被用以加熱物質。



銲接

將金屬熔化，再將金屬與鐵骨作連接。

玻璃固化

將液狀玻璃中具有放射性的

熔解(製鐵)

利用熱電漿熔化各種類的金屬，

微波放電

電子靶也是使用微波來產生電

MMA 未來的應用

螃蟹星雲

狼蛛星雲

太陽也是電漿!!

貓眼星雲

獵戶座大星雲

電漿推進

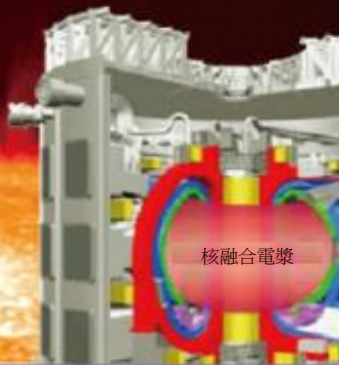
利用Xe電漿化燃料噴射的宇宙飛行。



人工太陽

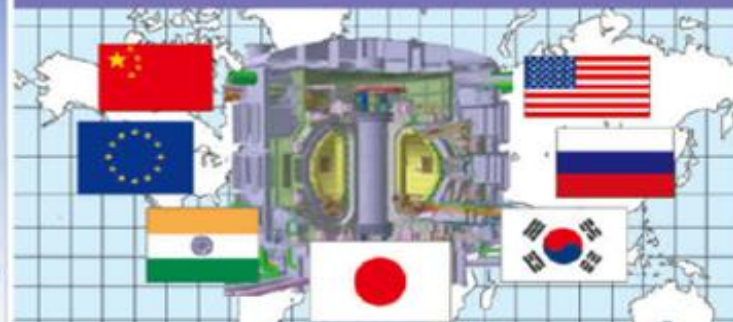
和太陽一樣的核融合能源，是最被期待未來能在地球上創造的能源。

核融合電漿



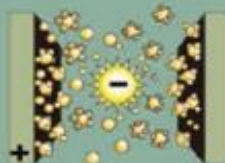
ITER計畫---更大規模的實現動作

日本和歐洲等國正實現核融合能源的願景，透過集結國際人才的智慧，ITER和其他大型研究計畫已加快了目標的進程。



產業廢棄物的處理

以含有水解離出來的氫和氧的電漿來分解有害物質。



水跟空氣的淨化

臭氧能淨化水質，而電漿能生成臭氧，促進化學反應來處理有害物質。



電漿醫療



此即物質的三態變化，加爾蒸
子是由帶間距的原子組成，原子又
即為“電離”而電離現象能產生含
漿)。

輕質量電子，以及重質量的質子
降的趨勢，而氣體經過加熱或其他
速碰撞而被激發；另外，用強光打

電漿推進

利用電漿化燃料噴射的
宇宙飛行。

生態學 和健康

電漿能消除細菌和塵埃、分解有害
物質，保護環境和人類健康。

殺菌

用電漿殺菌醫療器材。

產業廢棄物的處理

以含有水解離出來的氫和氧的
電漿來分解有害物質。

離子束治療癌症

用電漿形成離子束照射癌細胞，
為免切除手術。

電漿醫療

通過用低溫電漿照射身體來殺
菌和止血，以不痛的蛀齒治療
為目標。

醫療器材

為了使生物體適
應，用電漿處理
醫療器材表面。

水跟空氣的淨化

臭氧能淨化水質，而電漿能生
成臭氧，促進化學反應來處理
有害物質。

電氣吸塵裝置

用靜電去除塵埃防止空氣污染。

為了使生物體適應，用電漿處理醫療器材表面。

奈米科技

個人電腦和手機是奈米科技的成果，而在奈米科技的加工上，電漿的角色是不可或缺的。

蝕刻

從表面除去粒子達成微小的孔穴加工。

沉積

堆積粒子，製作薄膜的技術。

現代煉金術！

鑽石也能製作。

太陽能電池

透過用電漿製成的太陽能電池薄膜，將太陽能轉換為電能。

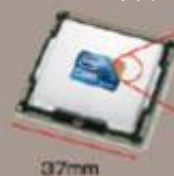
表面處理

在質輕而不夠堅固的金屬表面用電漿鍍上一層硬膜。

靜電塗裝

利用靜電能夠不產生斑點地進行塗裝。

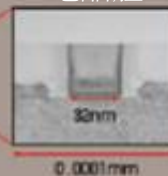
CPU封裝



CPU印模



電晶體



半導體

製作半導體中密密麻麻、複雜的電路也是電漿的工作。

印表機

讓微米尺寸的顏料粒子帶電，印刷也能使用電漿。

用電漿做出奈米等級的世界

做出的物件，尺寸可以小到毛髮的千分之一。

靜電塗裝

用電漿鍍上一層硬膜。

利用靜電能夠不產生斑點地進行塗裝。

靜電塗裝

靜電氣を利用してムラなく
きれいに塗装

印表機

讓微米尺寸的顏料粒子帶電，印刷也能使用電漿。

用電漿做出奈米等級的世界

做出的物件，尺寸可以小到毛髮的千分之一。

為什麼電漿用途如此多? Enabling Technology!

電漿中含有**電子、離子以及氣體原子**。低溫電漿是因為僅有一部份質量輕的電子在快速躍動著，而氣體中的原子與分子相互碰撞。通常高溫是化學反應的必要條件，但在電漿中，**低溫也能產生化學反應**。另一方面，電漿能發出**各式各樣的顏色光** (紫外光和可見光等等)，而我們能利用這個特性來做**照明**。

由於這些原因，電漿能作到固體、液體、氣體所不能作到的。因此，電漿被認為能應用在各種領域上：**能源、環境、奈米科技、半導體、醫療、生物**等等。

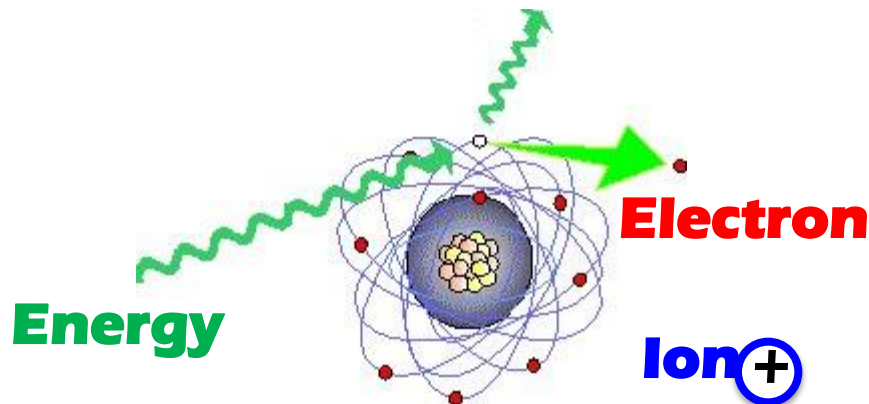


● Plasma – 離子化氣體 (物質第四態)

- 電子、離子、中性氣體
- 電中性
- 全離化電漿：太陽、核融合電漿等 (~100%解離)
- 弱離化電漿：霓虹燈、製程電漿等 (僅非常少數氣體解離, e.g., 10 ppm)

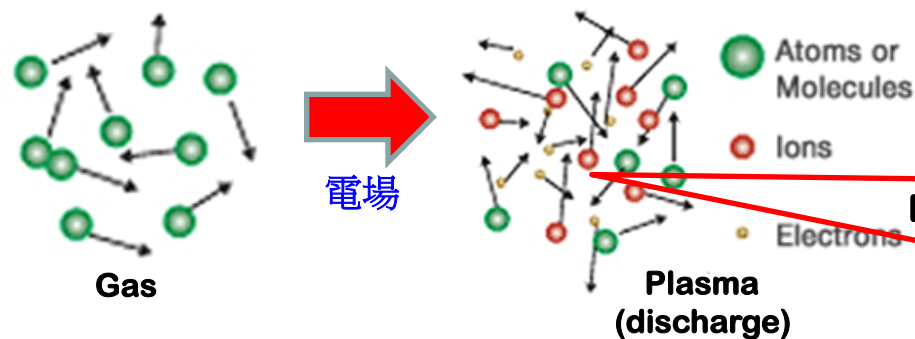
● 如何產生人工電漿？

- 加熱方式？<= **too hot** to handle!!!
- 較佳方式：外加**電場**或**電磁波**



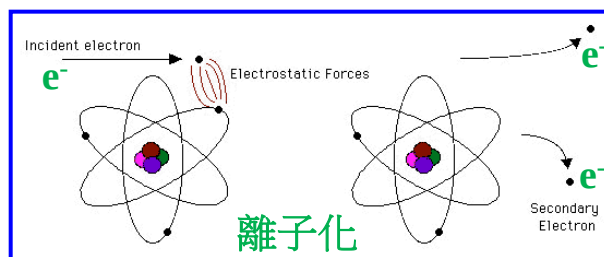
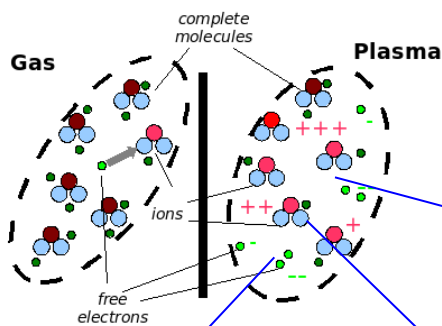
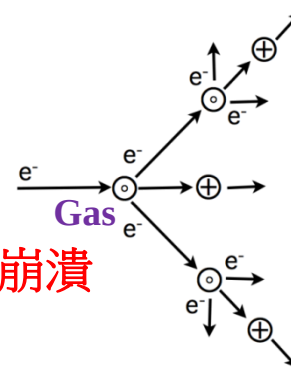
Plasma
 $e^- + \text{ion} + \text{neutral}$

如何產生人造電漿？

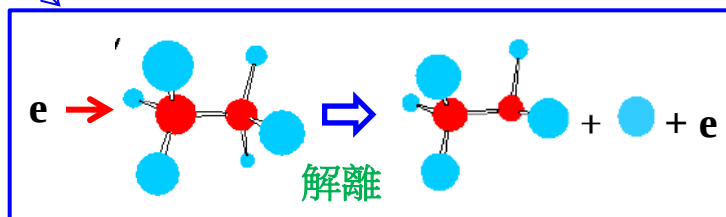
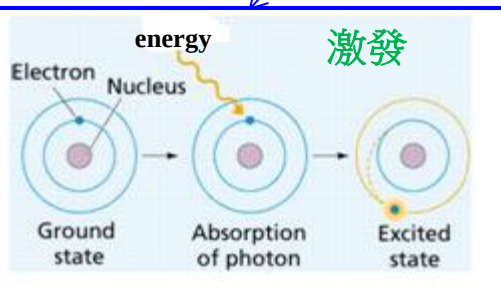


Breakdown

電子崩潰



激發



電子

維持電漿

離子

• 蝕刻
• 離子束
• 靜電透鏡

自由基

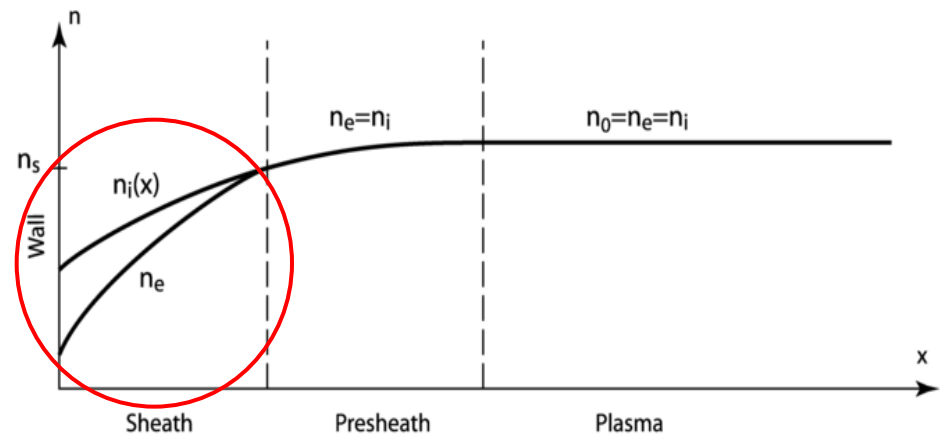
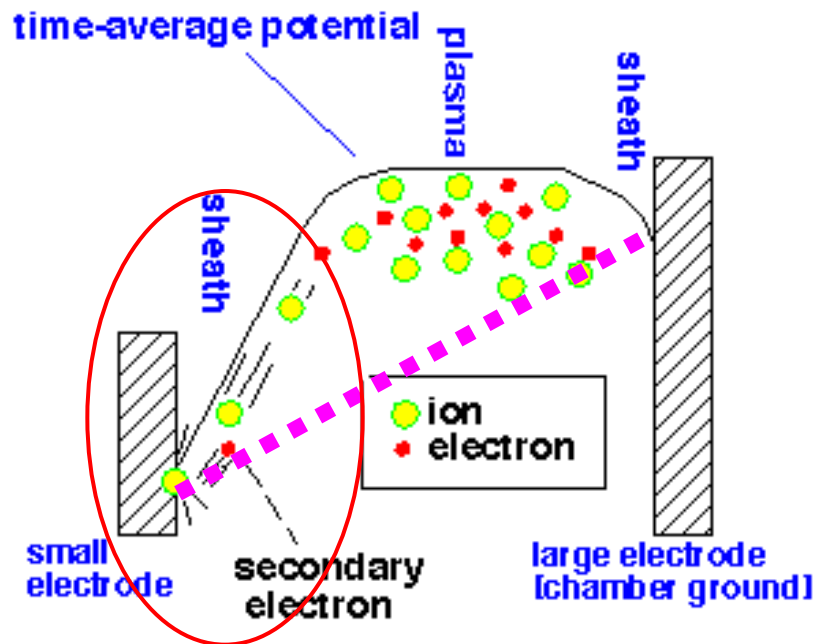
• 鍍膜
• 表面反應

激態原子/分子
(光子)

• 氣體雷射
• 電漿電視
• 霓虹燈



電漿鞘層 (sheath)



電漿的分類

低溫

高溫

Low-temperature plasma (LTP)		High-temperature plasma (HTP)
Thermal LTP $T_e \approx T_i \approx T \lesssim 2 \times 10^4 \text{ K}$ e.g., arc plasma at normal pressure	Nonthermal LTP $T_i \approx T \approx 300 \text{ K}$ $T_i \ll T_e \lesssim 10^5 \text{ K}$ e.g., low-pressure glow discharge	$T_i \approx T_e \gtrsim 10^7 \text{ K}$ e.g., fusion plasmas

熱電漿

冷電漿/非熱電漿



弱離化電漿
or
非平衡電漿

低壓電漿

- $T_e \approx 1-10$ eV (電子溫度)
- $T_e \gg T_i$ (thermal non-equil.)
- $n \approx 10^8-10^{13}$ cm⁻³ (電漿濃度)
- $P \approx 1$ mtorr-1 torr
- Energy is used to promote chemistry at substrate

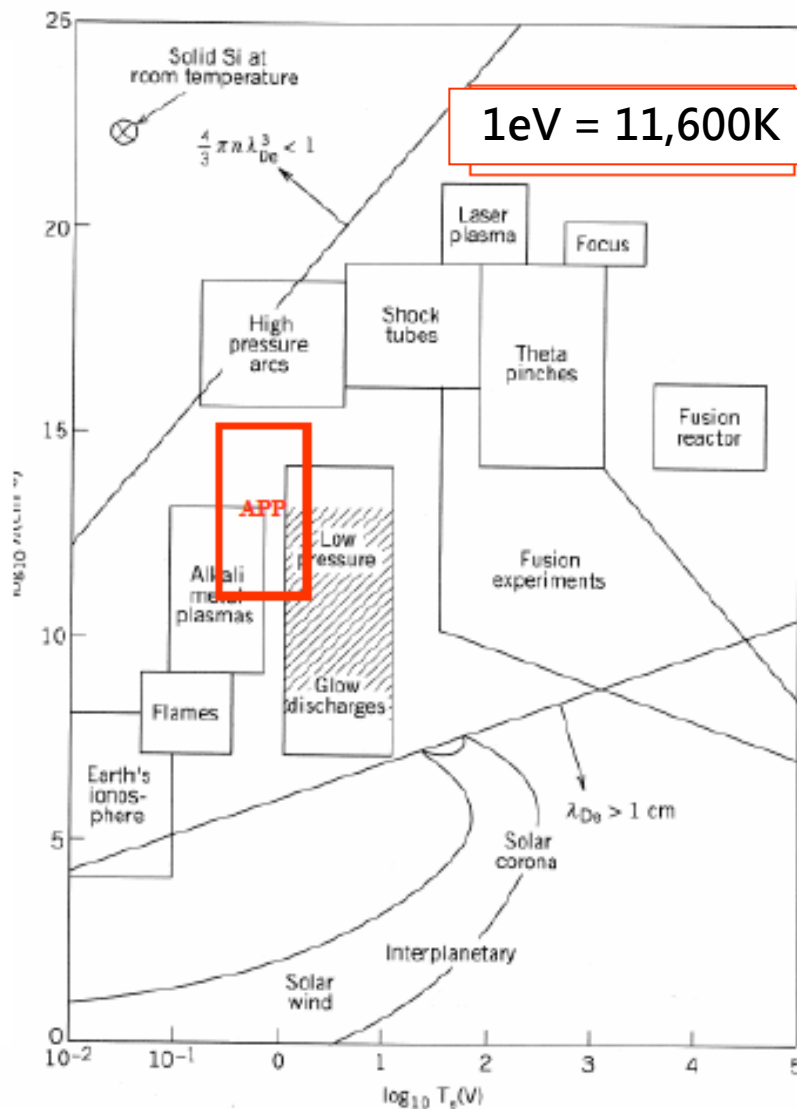
常壓電弧電漿

- $T_e \approx 0.1-2$ eV
- $T_e \geq T_i$ (~thermal equilibrium)
- $n \approx 10^{14}-10^{19}$ cm⁻³
- $P \approx 760$ torr (APP)
- Heat is used to heat, melt articles, etc.

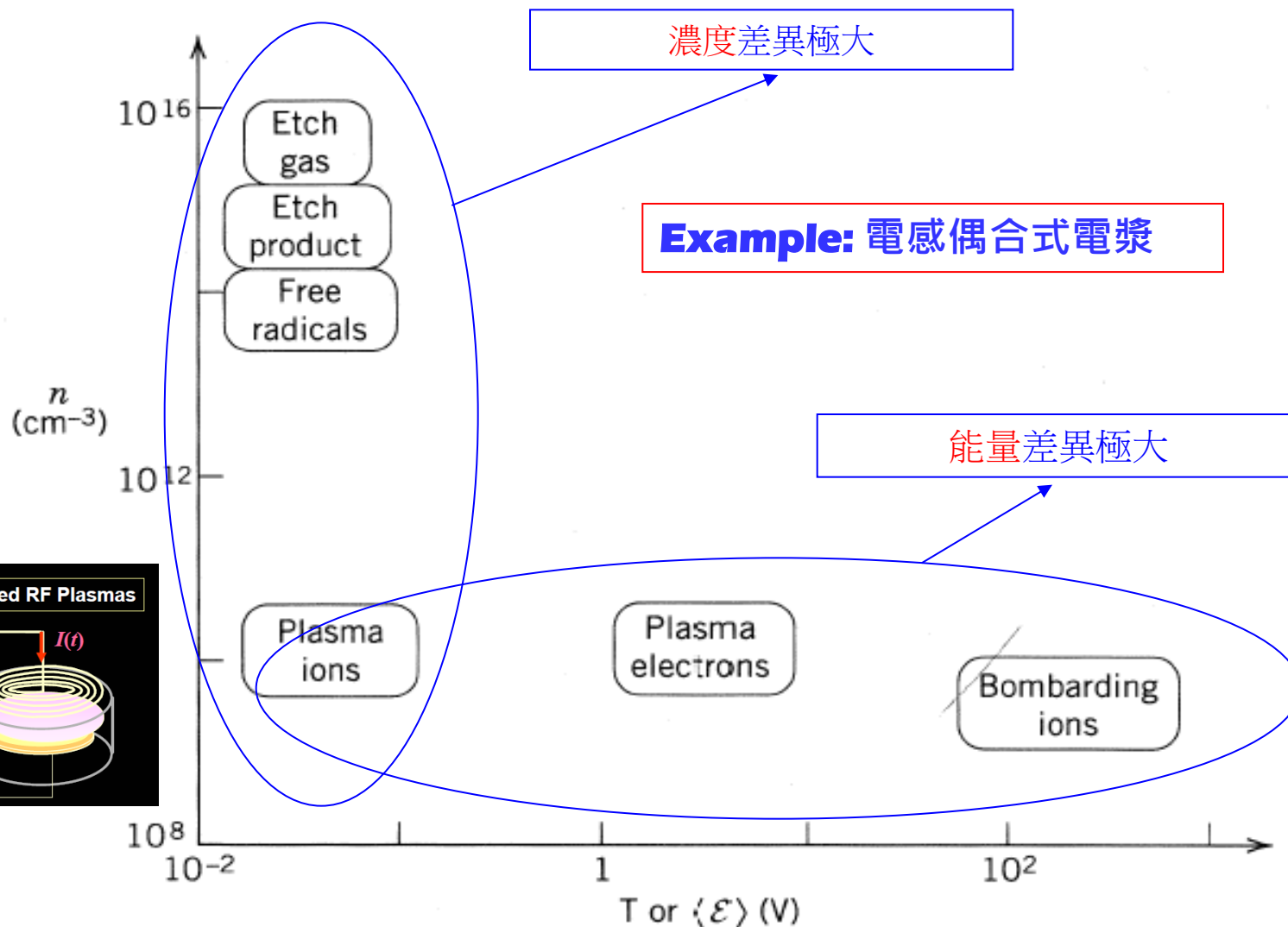
常壓低溫電漿

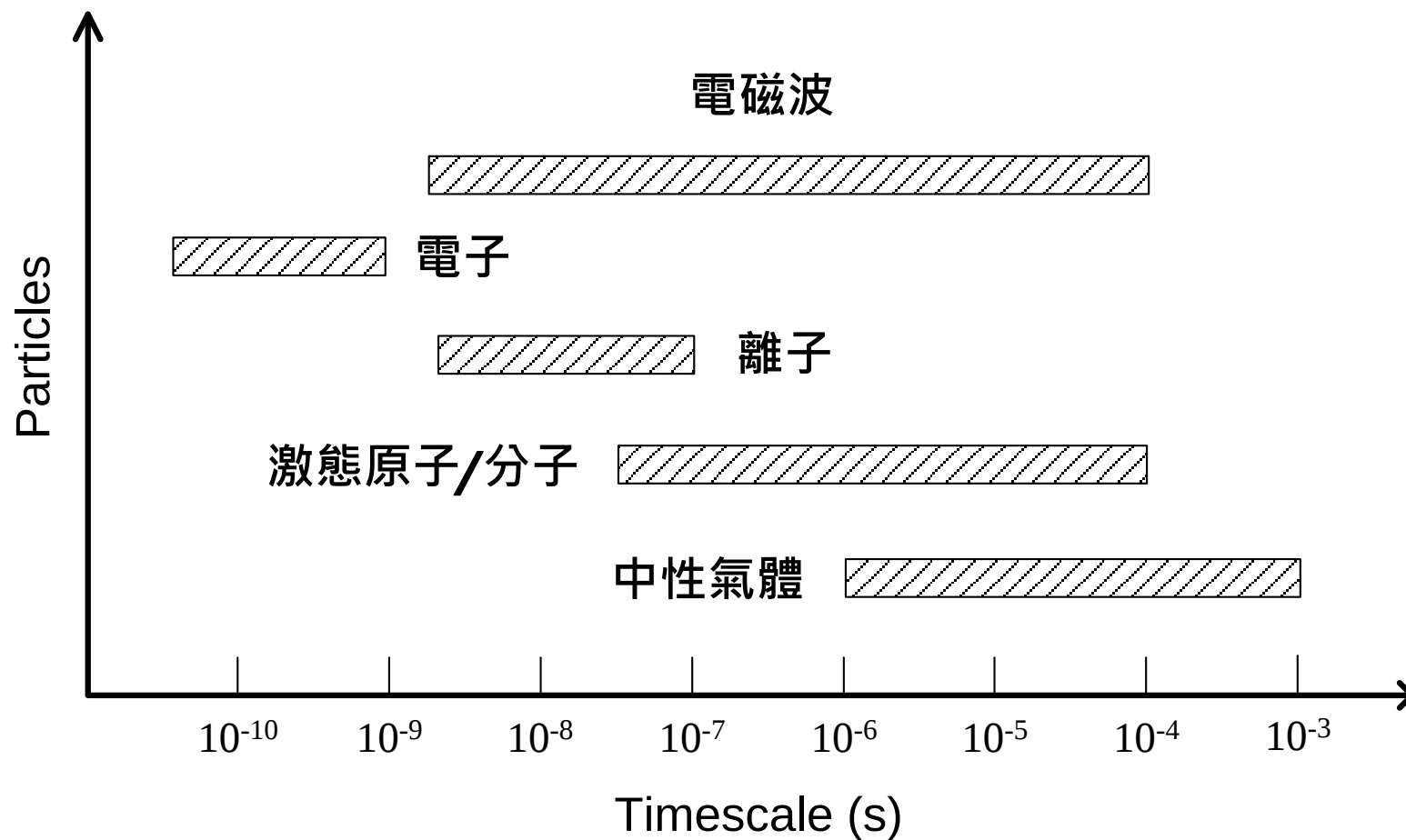
- $T_e \approx 0.2-1$ eV
- $T_e \gg T_i > T_g$ (~thermal non-equil.)
- $n \approx 10^{12}-10^{14}$ cm⁻³
- $P \approx 760$ torr (APP)

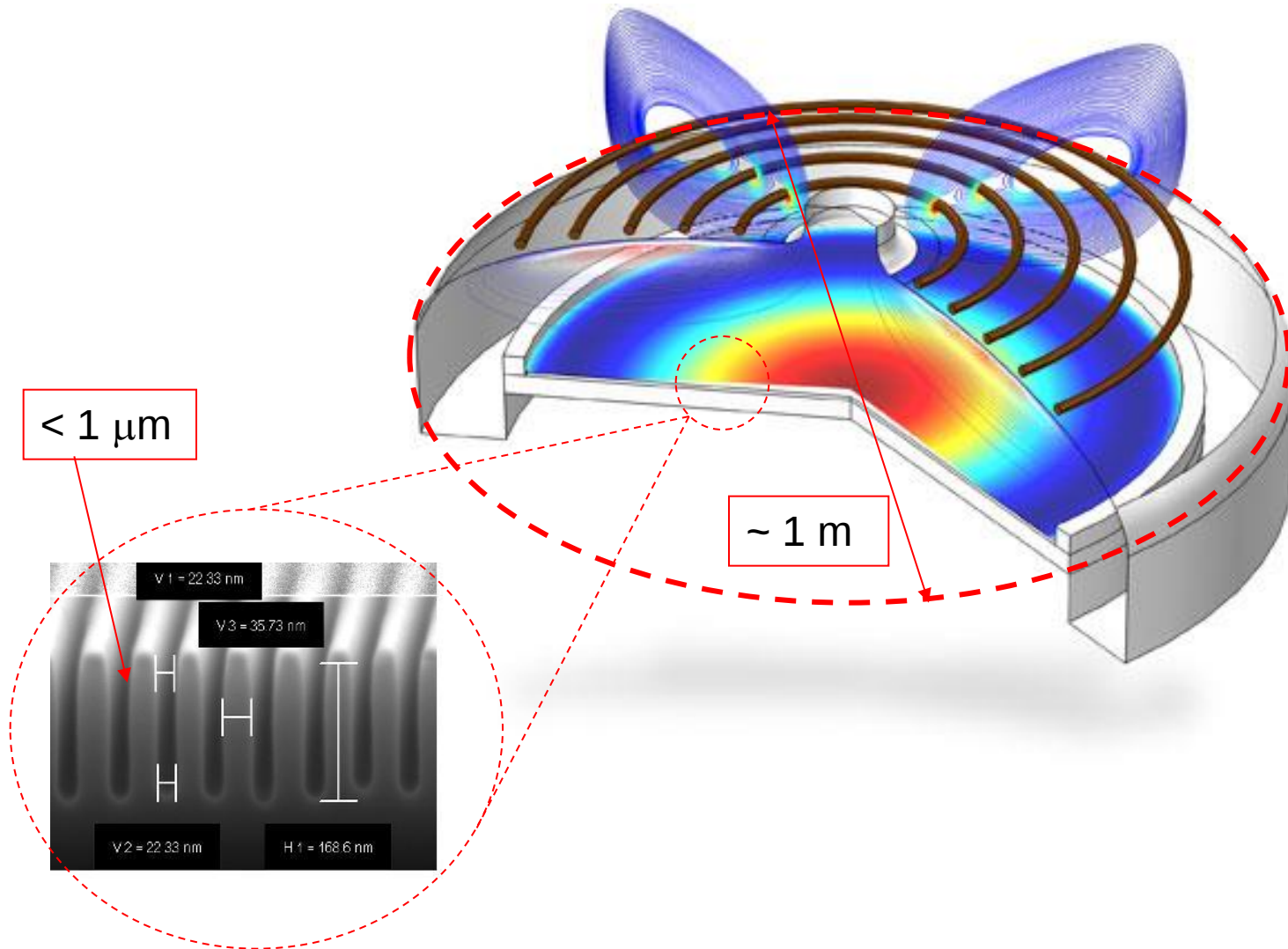
常壓電漿



「低溫（冷）電漿」的複雜性









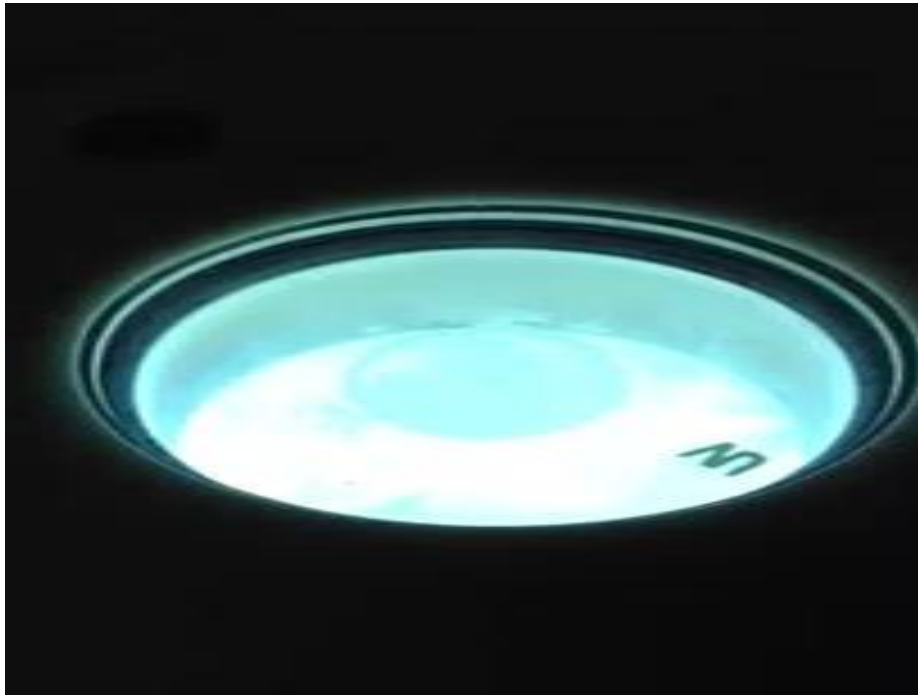
- **詳細量測困難**
- **分析/模擬相對困難**：各種物理量的數量級差距極大
- **極度跨領域**：各種物理現象交互作用, 如電磁波、電漿物理、電漿化學、流體力學、光學、材料科學、量子物理、量子化學、生物醫學等等

「低溫電漿」在現代科技發展的應用

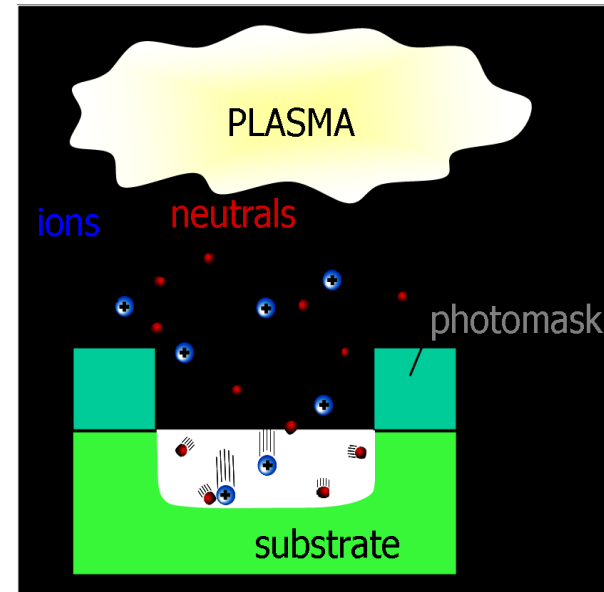
半導體製程技術



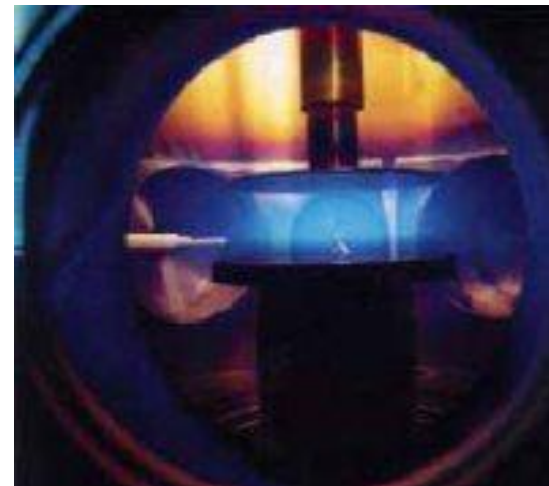
蝕刻 (etching)



http://www.youtube.com/watch?v=_hU0kMjkOXg



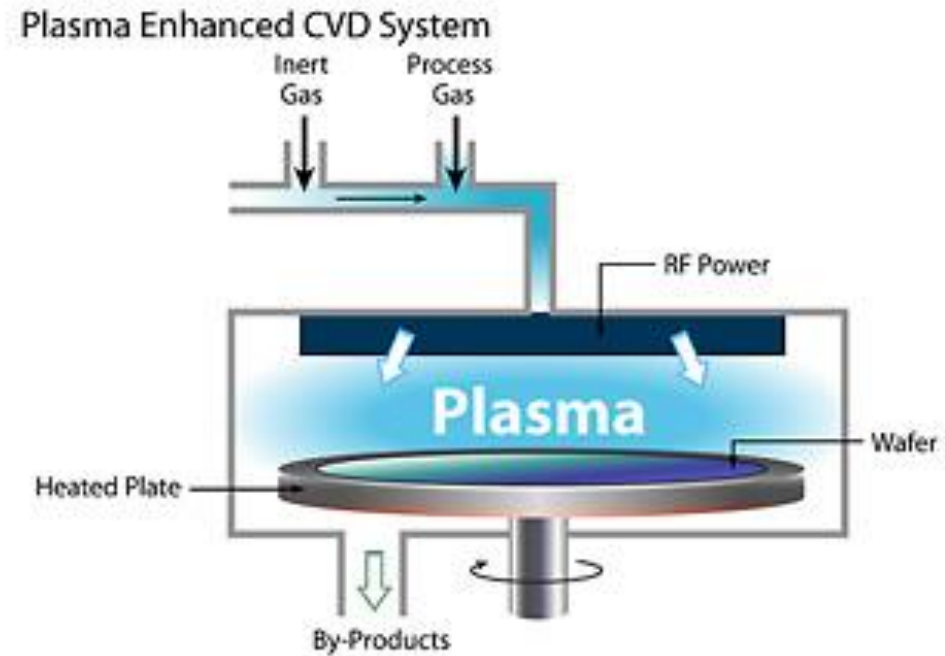
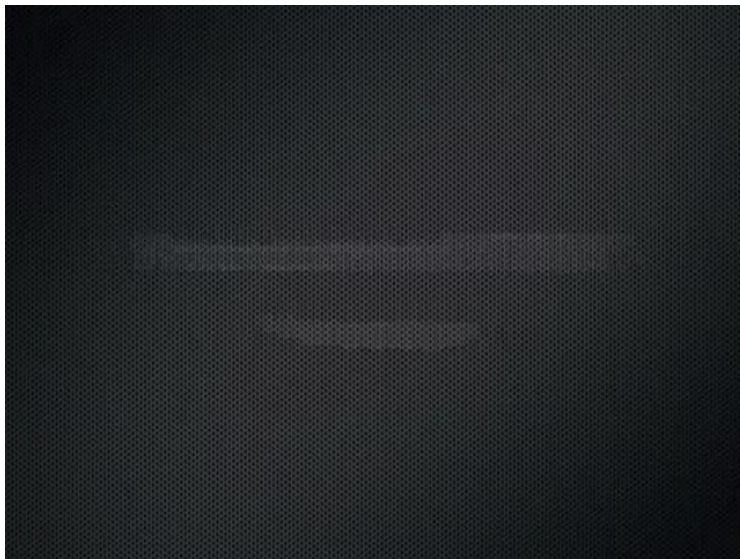
http://www.scorec.rpi.edu/research_plasmaetchmodeling.php



<http://scitech.web.cern.ch/scitech/toptech/03/Chip/chip2.shtml>



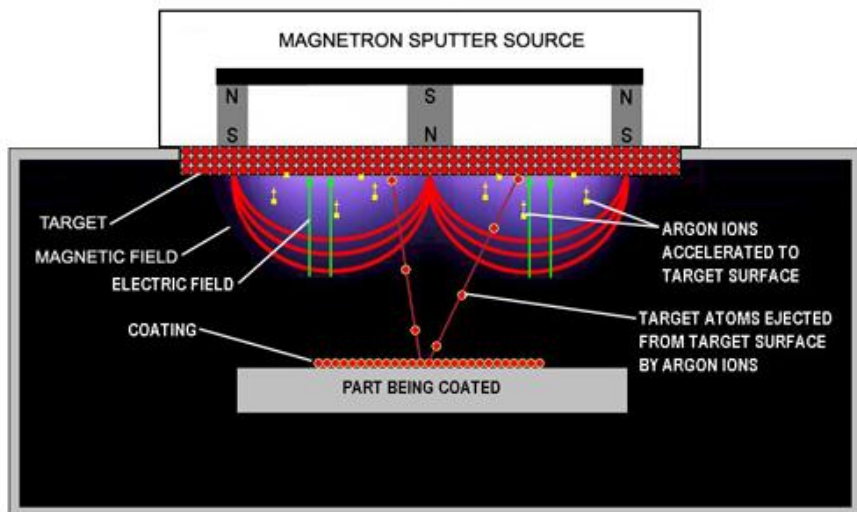
鍍膜 (film deposition)



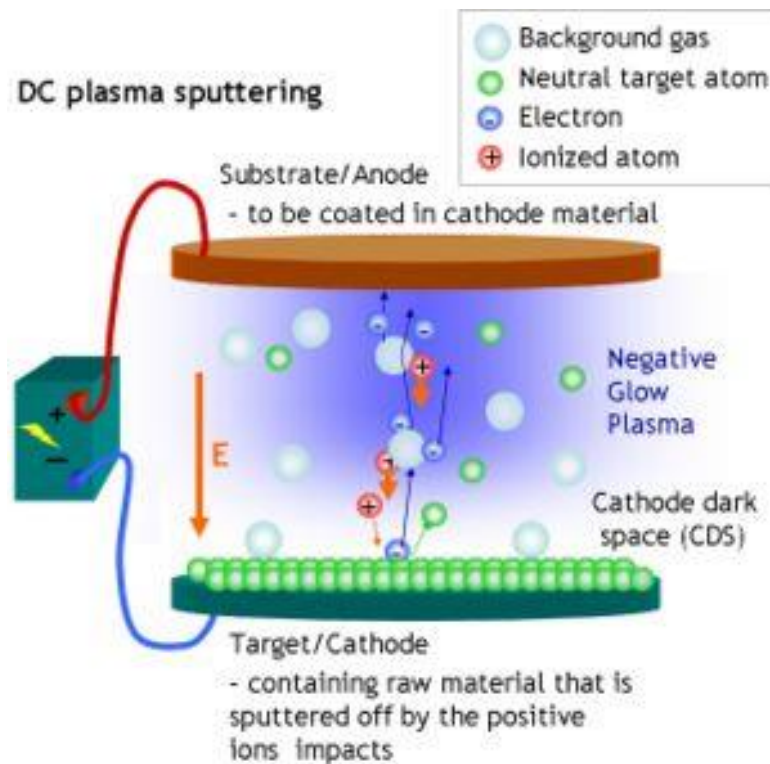
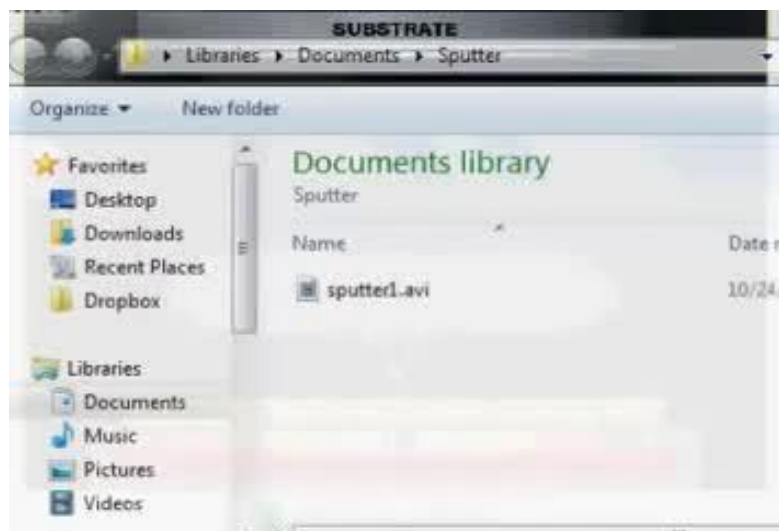
<http://www.youtube.com/watch?v=UGFkgLZ6EVI>

https://www.dowcorning.com/content/etronics/etronicschem/etronics_newcvd_tutorial3.asp?DCWS=Electronics&DCWSS=Chemical%20Vapor%20Deposition

磁控濺鍍 (magnetron sputtering)



<http://www.d2inlinesolutions.com/technology/sputtering.html>

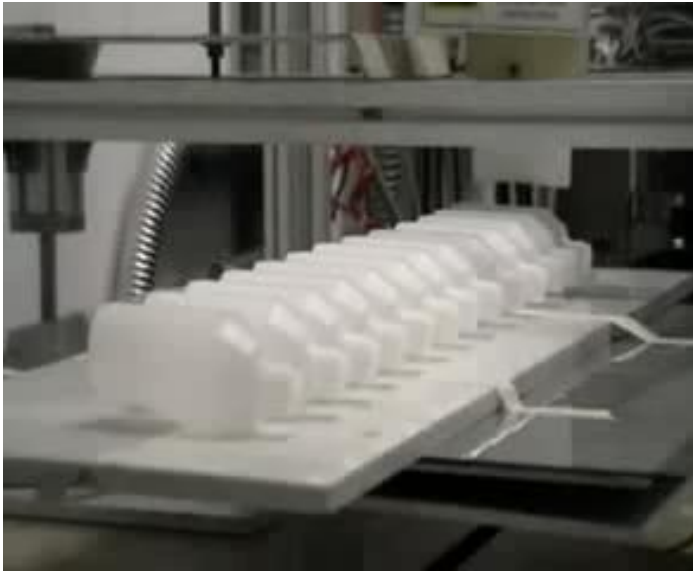


http://www.etafilm.com.tw/PVD_Sputtering_Deposition.html



電漿清潔

(plasma cleaning)

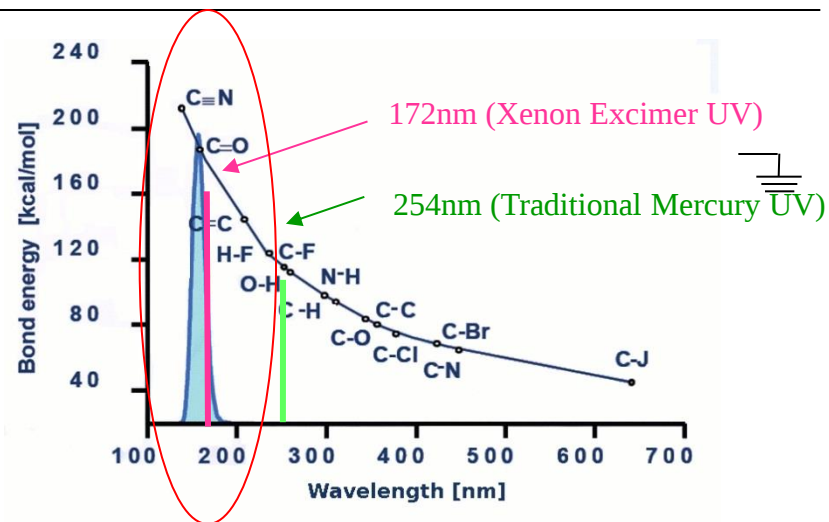
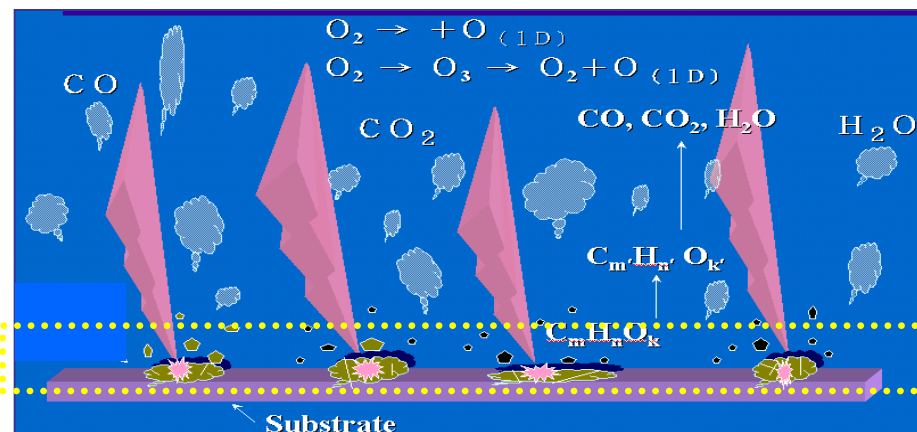
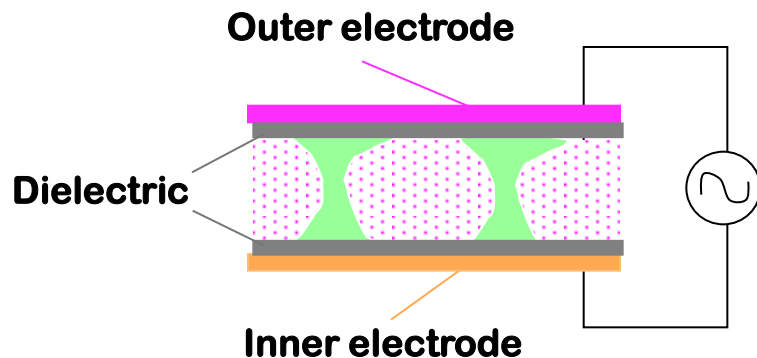


http://www.youtube.com/watch?v=TeKz_OybuWE



<http://www.yieldengineering.com/products/plasma-cleaning-systems>

表面清潔 (surface cleaning)



Volatile molecules fragments
(H_2O , CO_2 , CO)

$h\nu < 180nm$

Excited Molecular
Free Radical
Ions

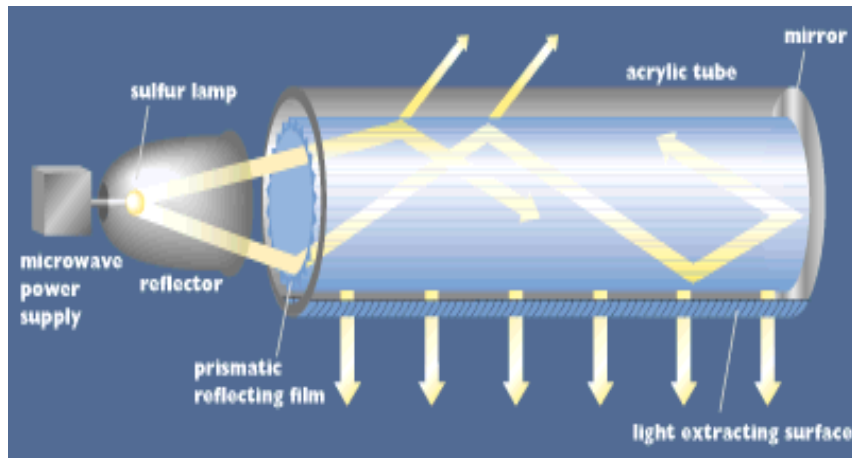
Organic compounds (photoresists,
resins, human skin oils, cleaning
solvent residues, silicone oils,
soldering flux etc.)

「低溫電漿」在現代科技發展的應用

照明技術



電漿照明 (Plasma Lighting)



<http://boards.cannabis.com/outdoor-growing/51696-sulphur-plasma-lighting.html>



<http://www.youtube.com/watch?v=zSgTd2HwLQs>



汽車頭燈

(Mobile Headlamp)



<http://www.aliexpress.com/item/8500K-H7-Xenon-Plasma-12V-55W-Quartz-Ion-4-Bulbs-bulb-white-foglight-headlight-bulb-H1/713709459.html>



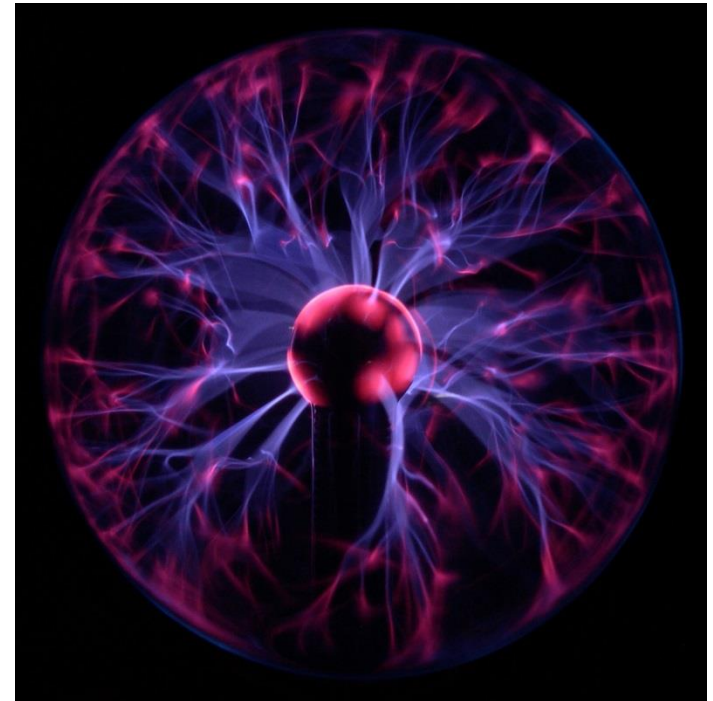
<http://www.demon-tweeks.co.uk/performance/bulbs/simoni-racing-super-plasma-white-headlamp-bulbs-4600k-colour>



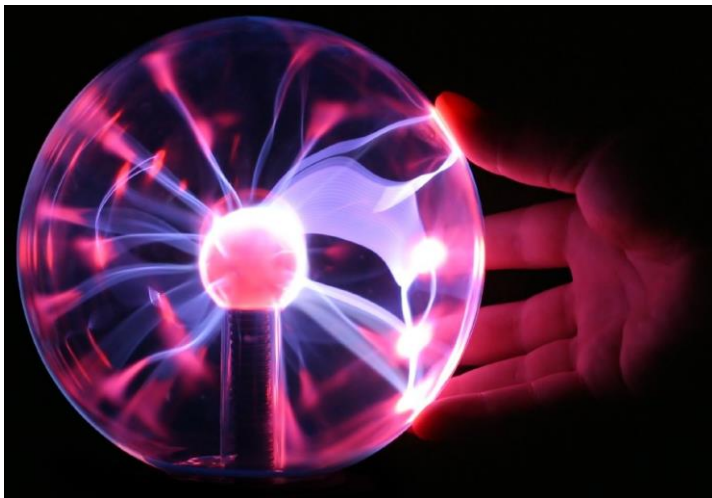
電漿藝術燈 (plasma lamp)



http://www.youtube.com/watch?v=tbrmOrH4qRc&playnext=1&list=PLYQfNx0vnN4qv2XzTI5xPCKE1MwjJ_uHc&feature=results_main



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Plasma-lamp_2.jpg

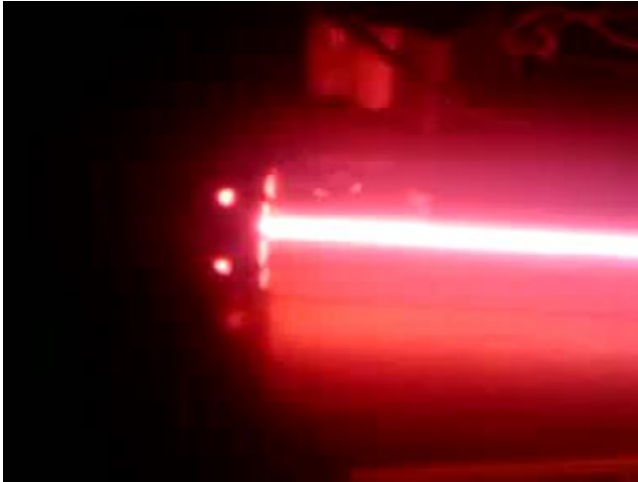


http://en.wikipedia.org/wiki/File:Plasma-lamp_2.jpg

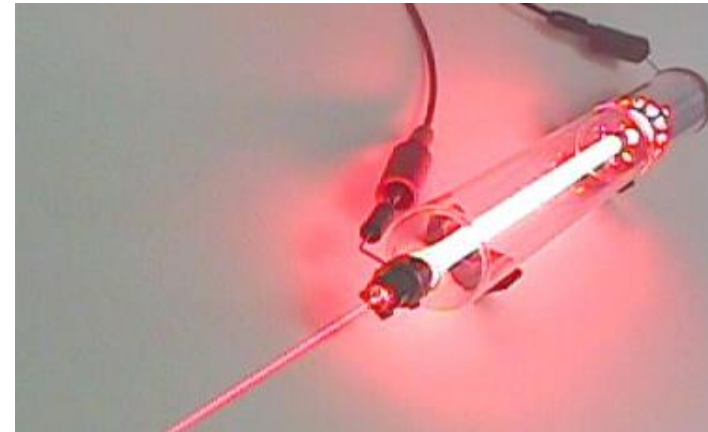
「低溫電漿」在現代科技發展的應用

雷射光源技術

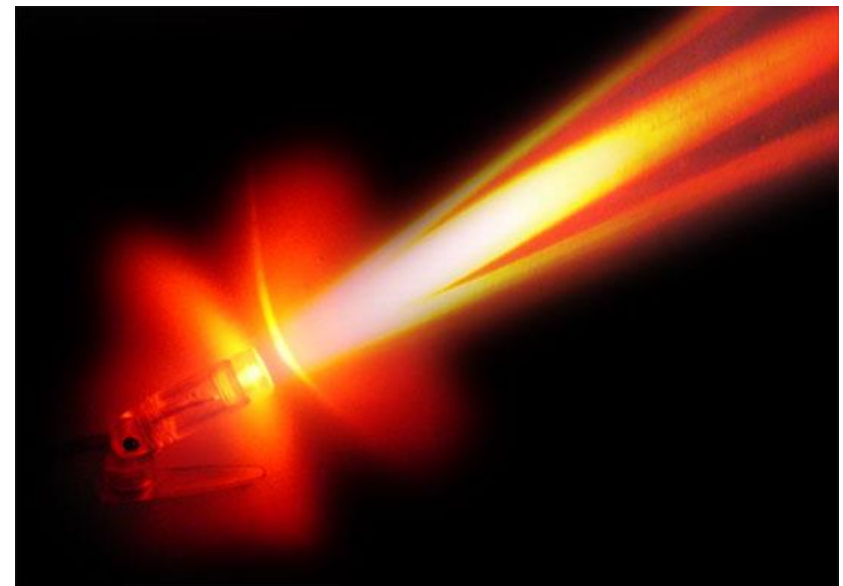
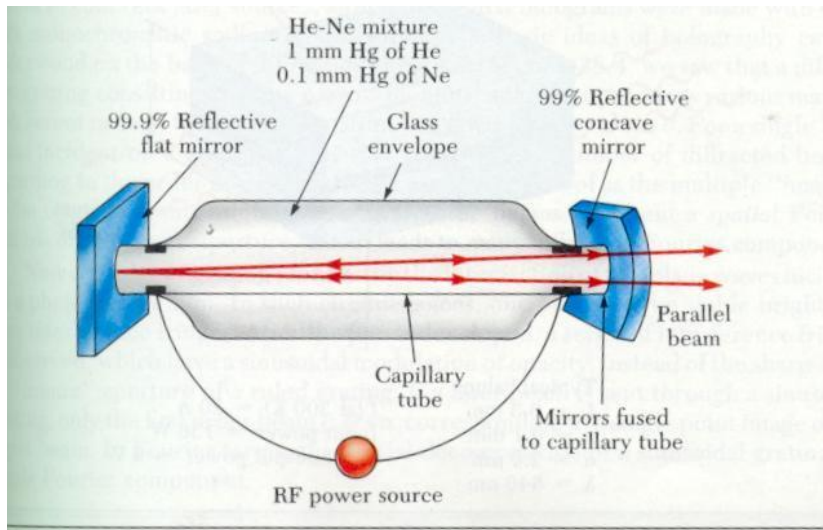
氣體雷射 (Gas Laser)



<http://www.youtube.com/watch?v=S6qkJe1zs8o>



<http://laserpointerforums.com/f42/hene-gas-laser-27587.html>



<http://www.freewebs.com/cool101010/gaslaser.htm>

「低溫電漿」在現代科技發展的應用

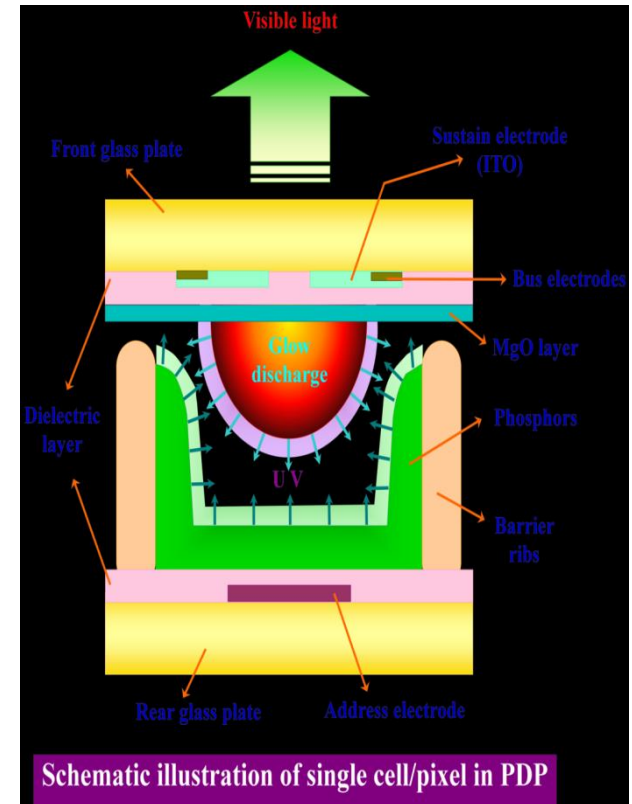
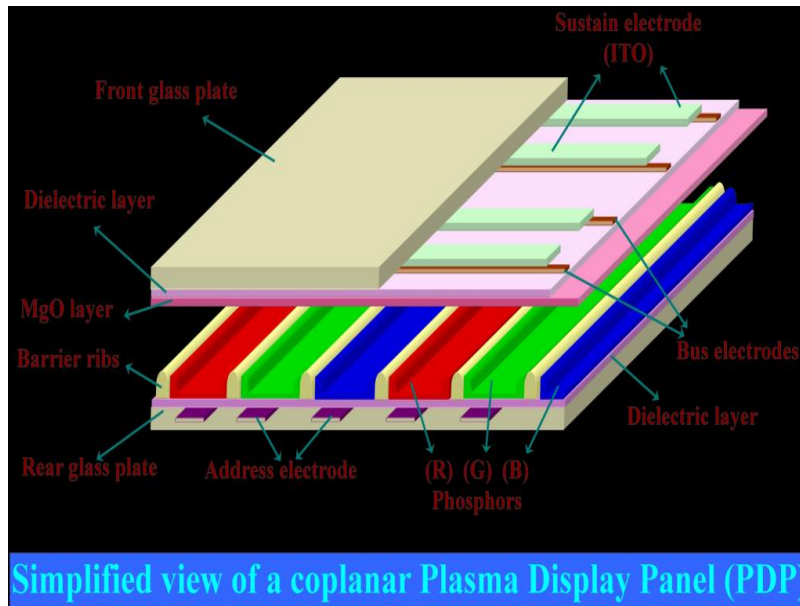
顯示技術



電漿電視 (Plasma Display Panel)



<http://www.youtube.com/watch?v=ZZTIY-YIBZA>



<http://sanjaykram.blogspot.tw/2007/10/dielectric-emissive-coatings-in-high.html>

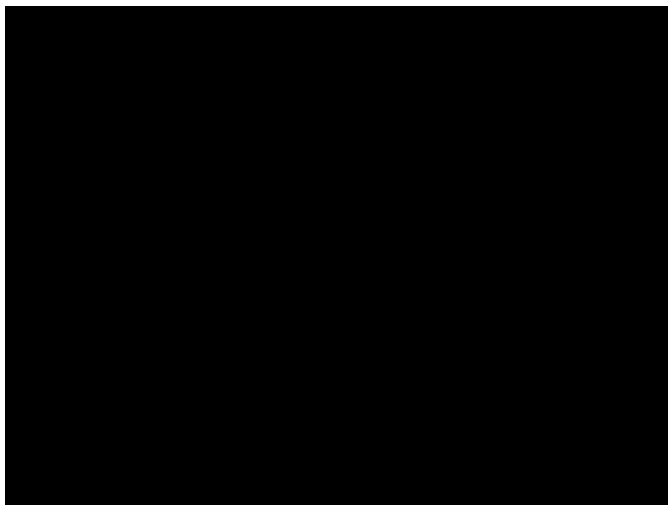
<http://sanjaykram.blogspot.tw/2007/10/dielectric-emissive-coatings-in-high.html>

「低溫電漿」在現代科技發展的應用

航太技術



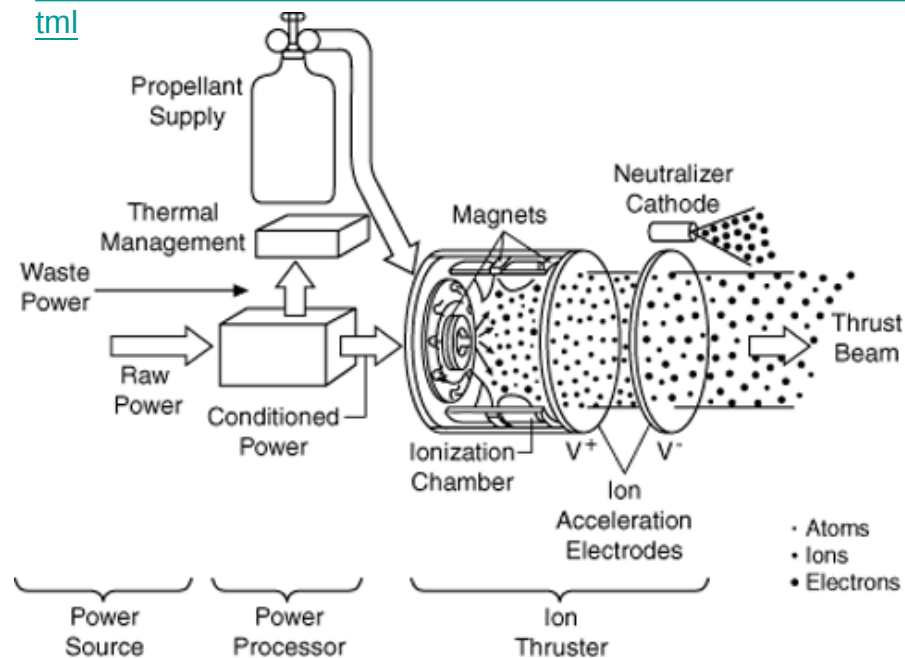
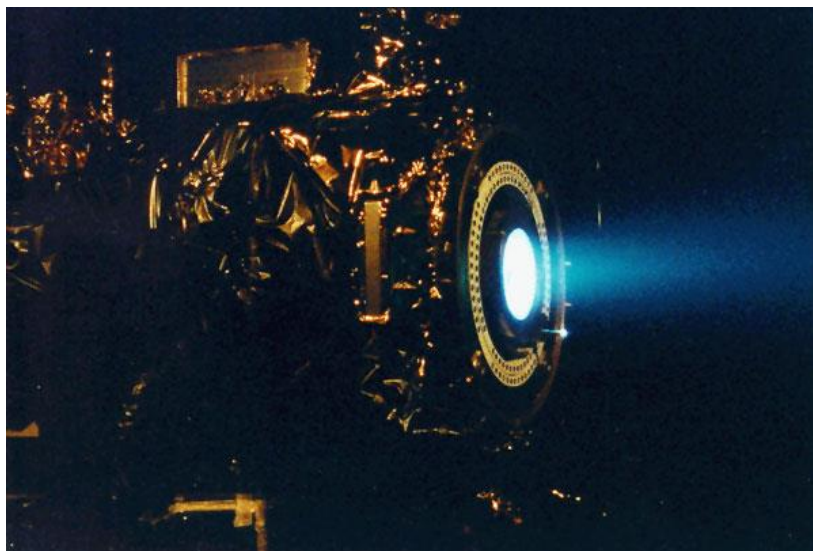
離子推進器 (Ion thruster)



<http://www.youtube.com/watch?v=7ozKUXiAs1Q>



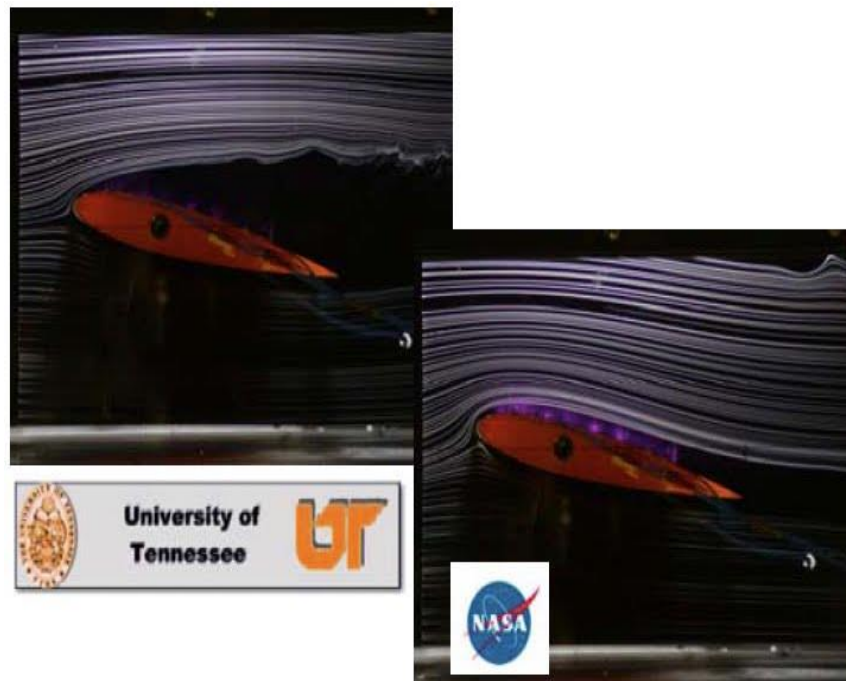
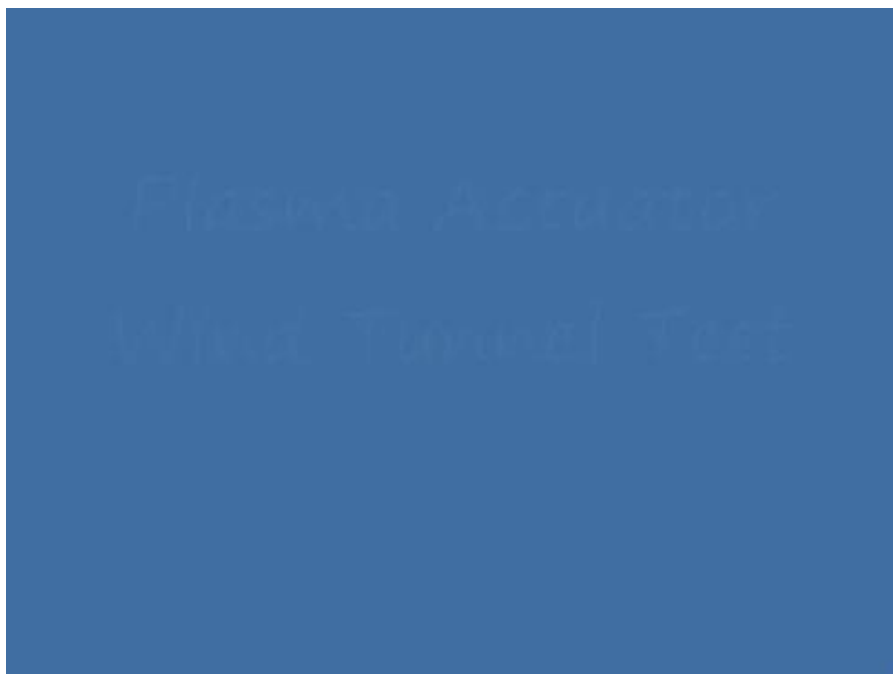
[http://www.nasa.gov/centers/glenn/technology/ion_Propulsion1.h
tml](http://www.nasa.gov/centers/glenn/technology/ion_Propulsion1.html)



http://dawn.jpl.nasa.gov/mission/ion_prop.asp



電漿致動器 (Plasma Actuator)

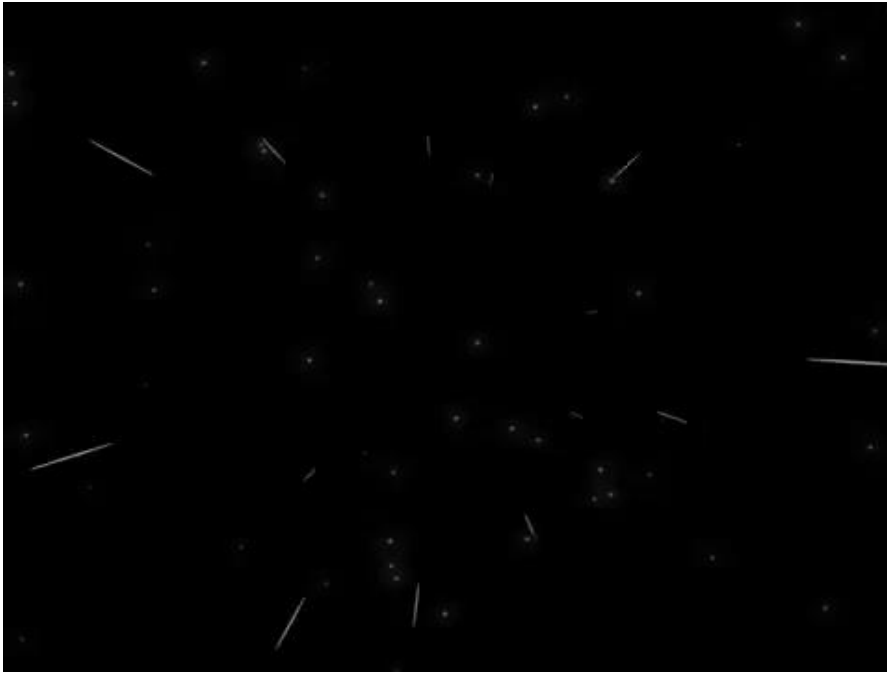


<http://www.youtube.com/watch?v=KYb37k3L1iQ>

http://sethandkate.blogspot.tw/2010_06_01_archive.html



太空推進器 (fusion)



http://www.youtube.com/watch?v=Z8Hwqg9_oA8&playnext=1&list=PLB03B4C0A3151BE0E&feature=results_video



<http://www.crossfirefusion.com/spacedrive-electric-propulsion/phase-shift-plasma-turbine.html>

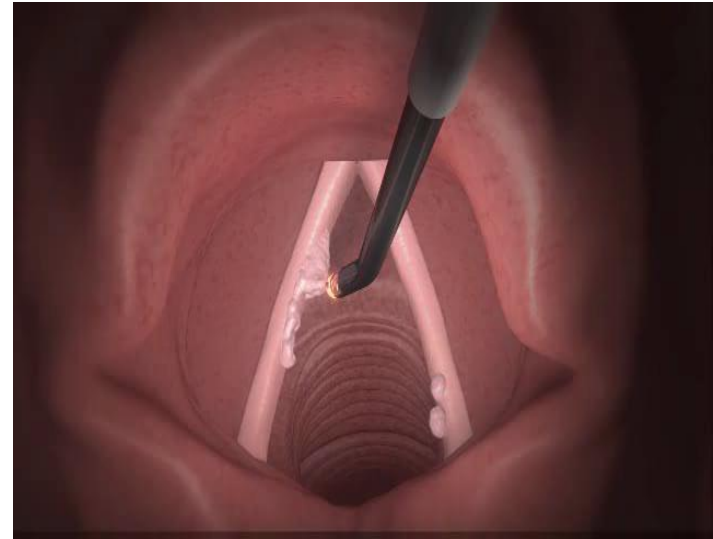
「低溫電漿」在現代科技發展的應用

生物醫學技術

Use of PlasmaJet® in Gynecology

Prof. Chris Sutton
Mount Alvernia Hospital
Guildford (UK)

http://www.youtube.com/watch?v=e9QfwVwy_zA



<http://www.arthrocareent.com/procedures/view/5-laryngeal-lesion-debulking>



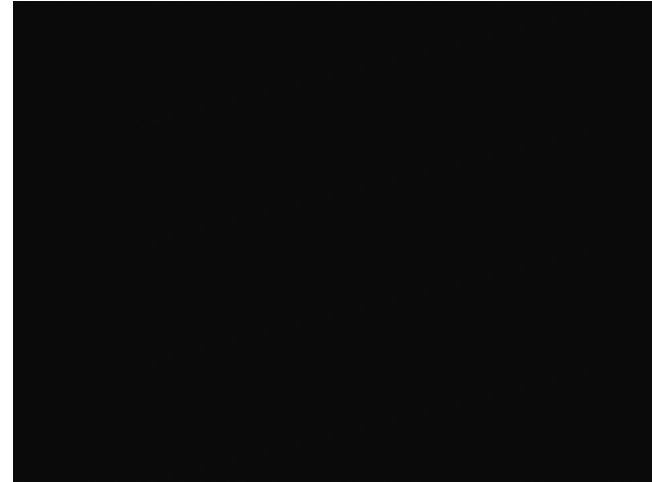
<http://medtechinsider.com/archives/23451>



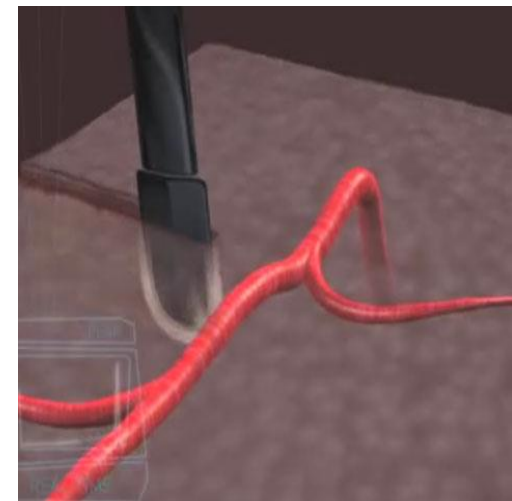
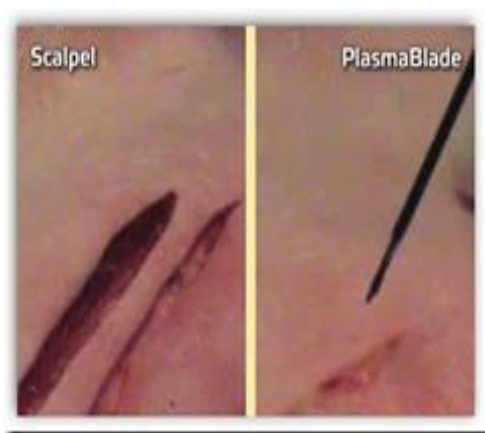
<http://www.arthrocareent.com/procedures/view/5-laryngeal-lesion-debulking>



電漿刀 (Plasma Blade)



<http://www.youtube.com/watch?v=IBalkhn-M-U>



<http://www.neologies.net/2008/05/peaks-plasma-blade.html>

<http://www.neologies.net/2008/05/peaks-plasma-blade.html>



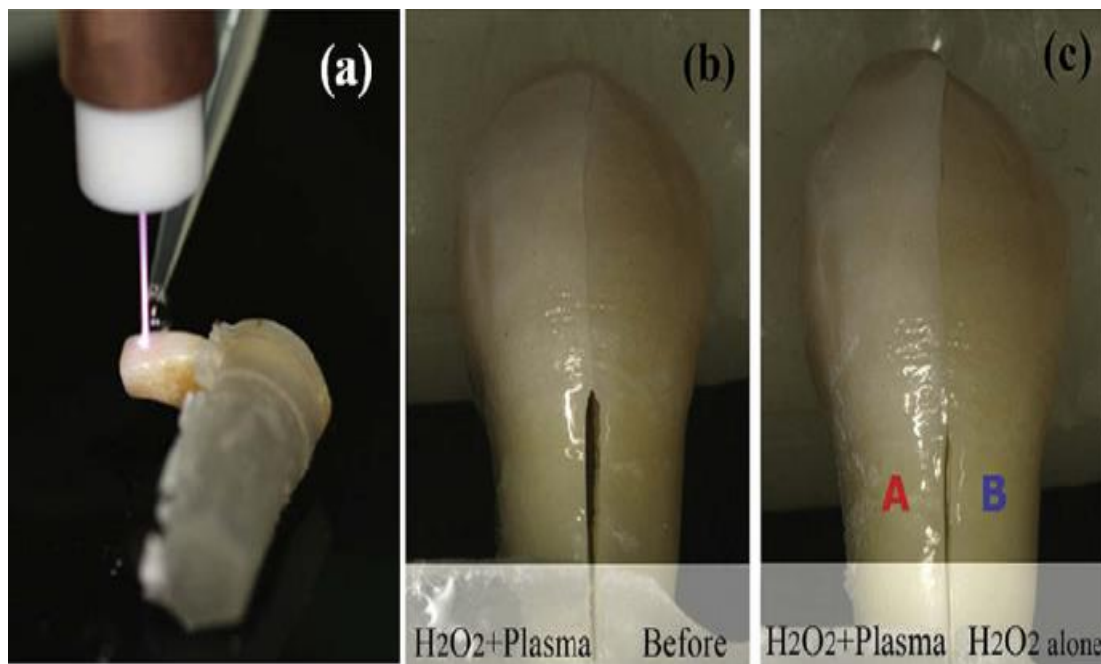
電漿牙齒美白 (Tooth Bleaching)



<http://www.youtube.com/watch?v=P89UOeN2Kcw>



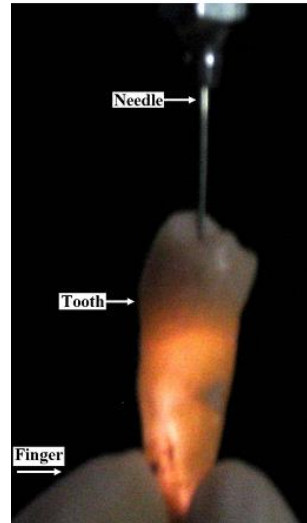
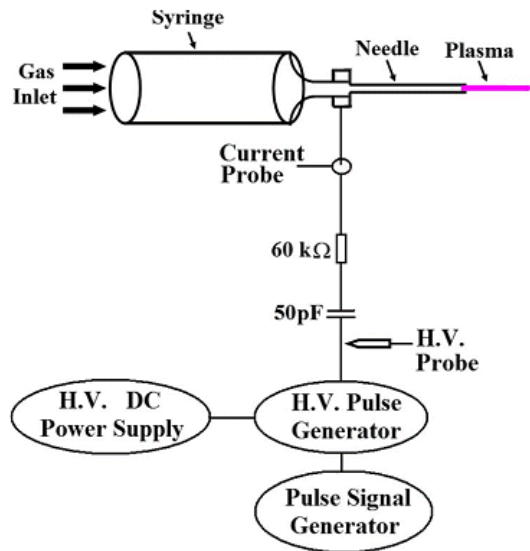
<http://coronadentistrynews.com/2012/01/clinical-trials-start-dental-tool-mu/>



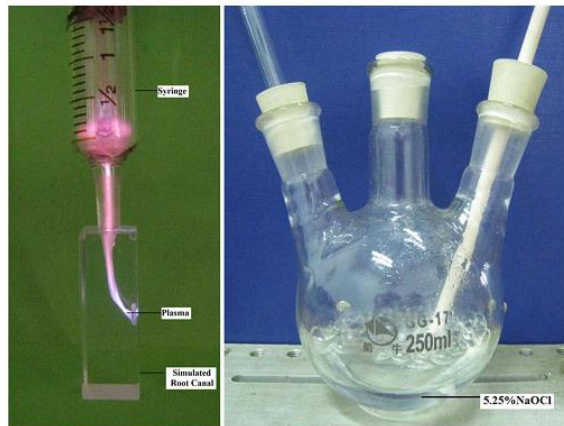
http://iopscience.iop.org/0963-0252/21/4/043001/article?sid=IOPP%3Ajl_ref&id=doi%3A10.1063%2F1.373792&genre=article&date=2000&aui=Moreau&aufrst=S&issn=0021-8979&volume=88&issue=2&spage=1166&style=J.+Appl.+Phys.

牙齒清潔、根管治療 (canal sterilization)

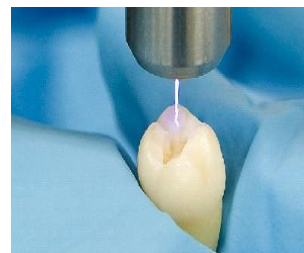
Dental Applications



Lu et al., 2009

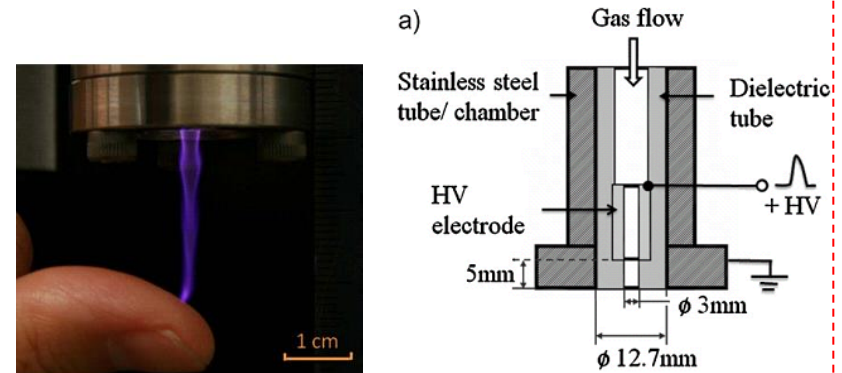


Zhou et al., 2010

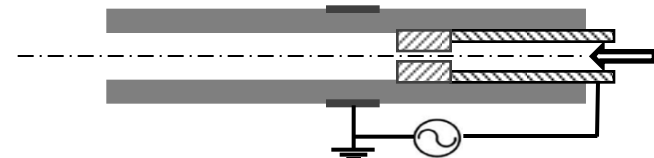
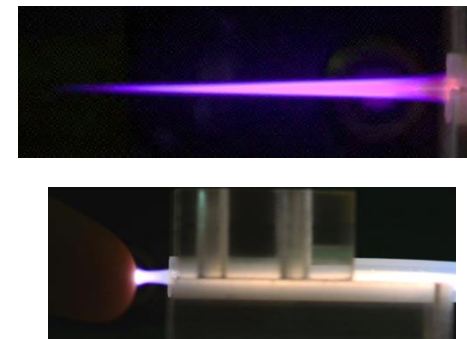


<http://physicsworld.com/cws/article/news/2010/jan/25/plasmas-are-cool-for-dental-disinfection>

Sterilization



Jiang et al., 2009





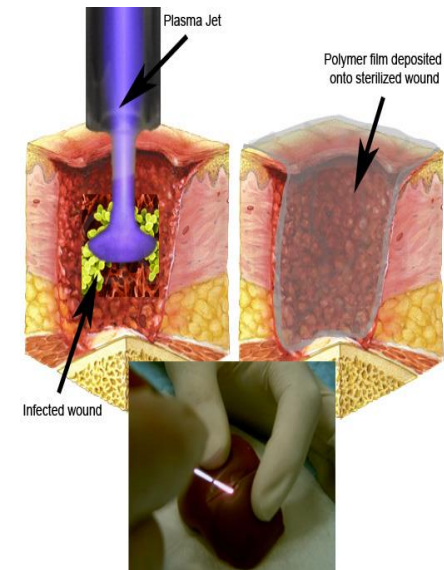
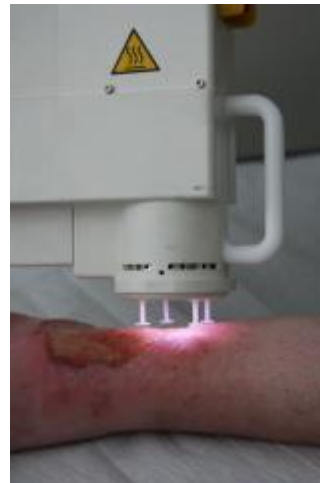
傷口癒合 (Wound Care)



<http://www.aultimut.com/products/available-technologies/atmospheric-pressure-plasma/>



<http://www.plasmedica.com/technology/the-applicator>

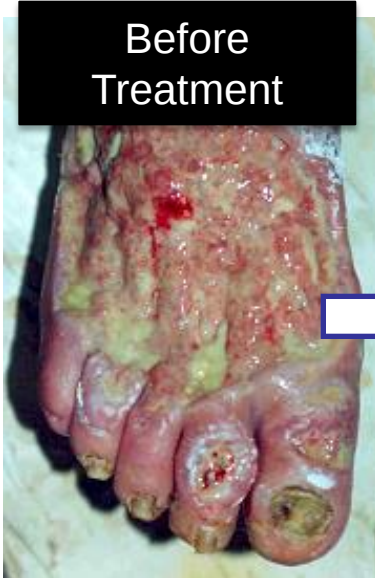


http://www2011.mpe.mpg.de/theory/plasma-med/top_med_3.html

http://pedl.tamu.edu/index_files/ResearchPage.html

傷口癒合 – 續 (Wound Care)

Before
Treatment



5 Months (3 course,
12 sess. per course)



Before
Treatment



21 Days
(10 sess.)



2 Months
(30 sess.)

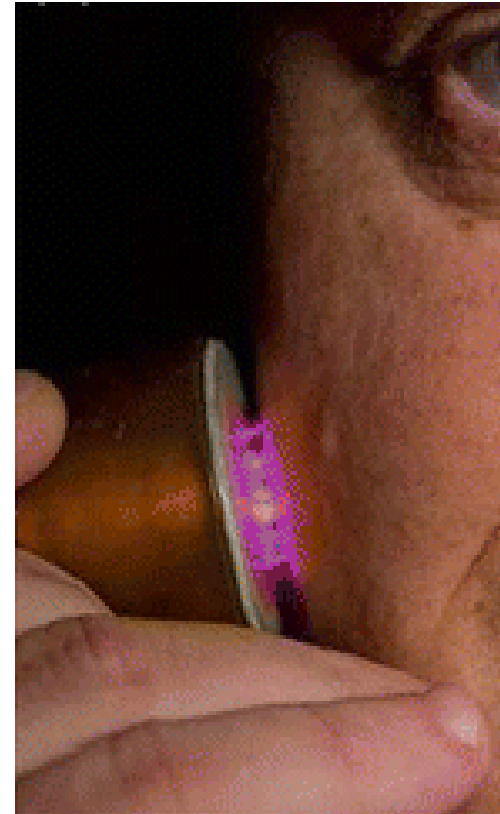




皮膚再生 (Skin Regeneration)



<http://www.youtube.com/watch?v=NvrRZEBLHvg>



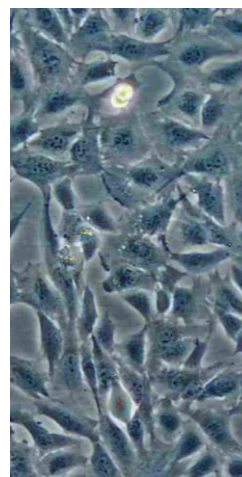
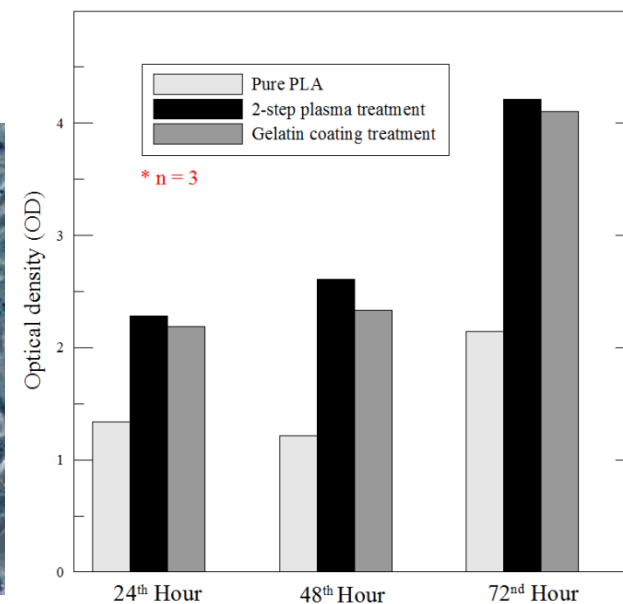
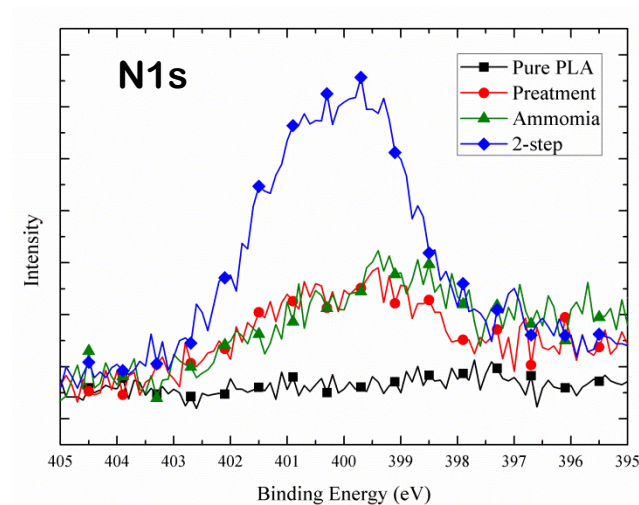
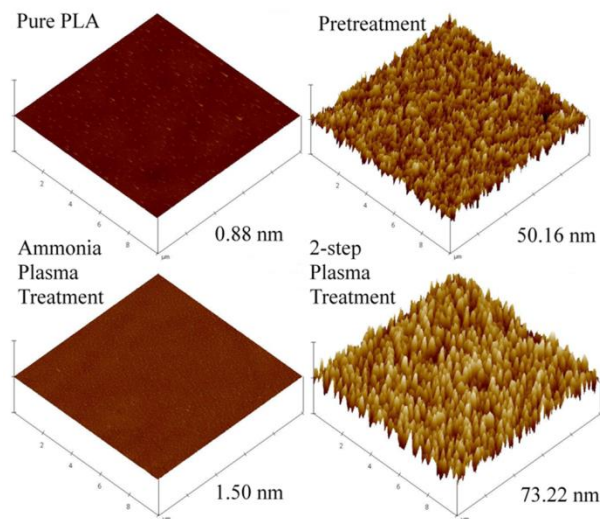
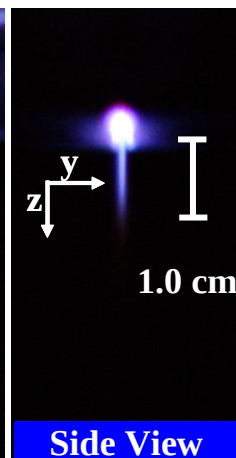
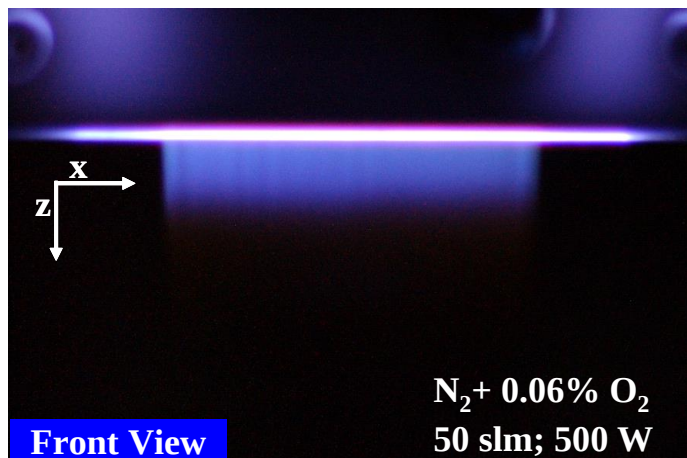
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10439-010-0197-x/fulltext.html>

2-Step Plasma Treatment

N_2/O_2
plasma



N_2/NH_3
plasma



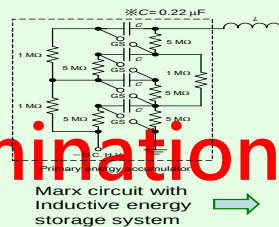
Agricultural applications of pulsed power

Improvement of mushroom yield

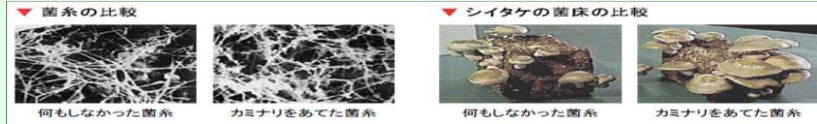


Marx IES pulsed power generator

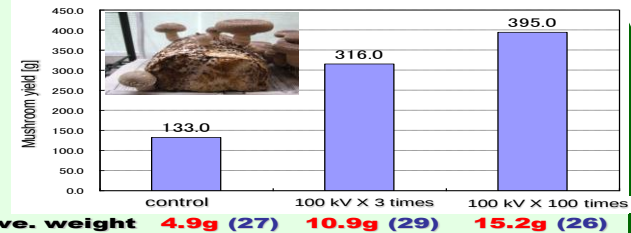
Germination



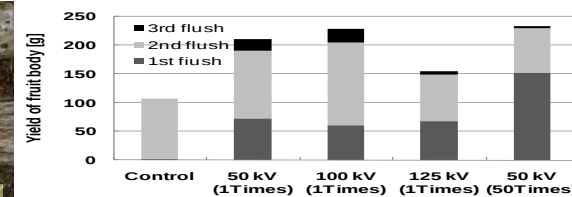
High output voltage (100 kV) with low charging voltage (5 kV).



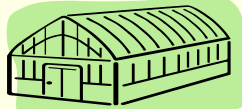
先行研究事例 (九州大学農学部大賀先生)



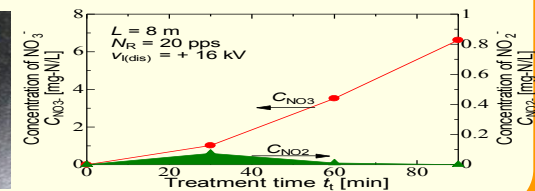
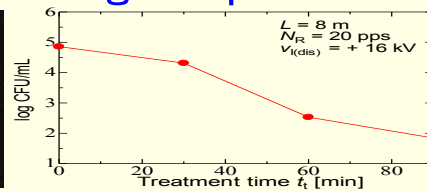
Ave. weight 4.9g (27) 10.9g (29) 15.2g (26)



Under water discharge in plant cultivation system



Growth



Polyphenol Extraction from grape skin

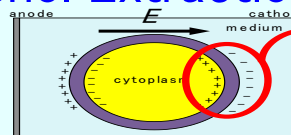


図1(b) 細胞により強い電界印加の場合

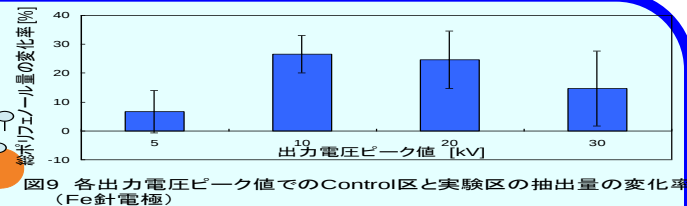
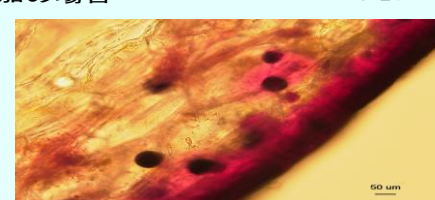
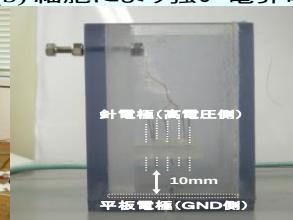
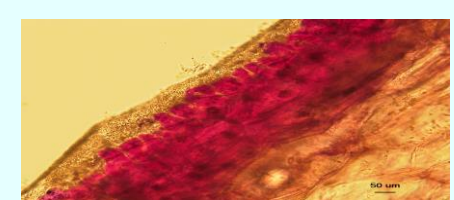


図9 各出力電圧ピーク値でのControl区と実験区の抽出量の変化率 (Fe針電極)

Preservation, process



(a) Control区



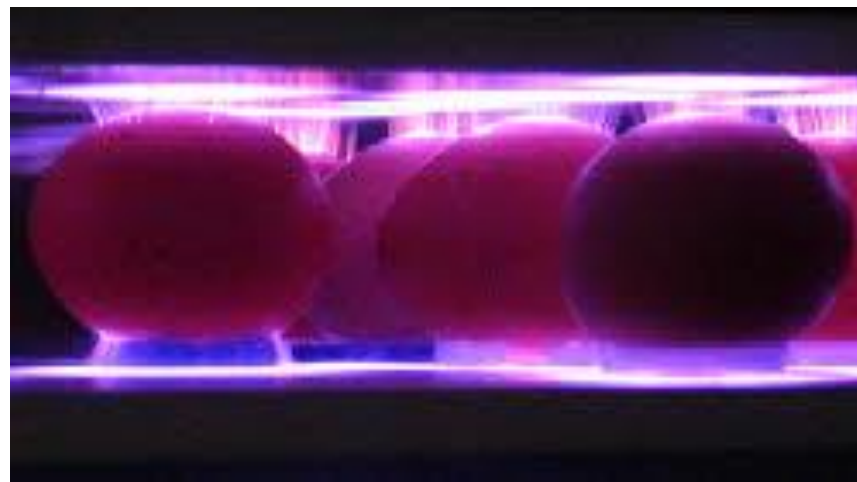
(b) 実験区 (出力電圧ピーク値20kV)



食物、水果保存 (fruit, food preservation)



http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=19-35-77-00



<http://www.thepoultrysite.com/poultrynews/22771/new-plasma-treatment-sterilises-eggs-gently>



<http://exelmagazine.org/article/plasma-for-poultry/>



<http://www.foodgalaxy.org/emerging-technologies/cold-atmospheric-plasma>

「低溫電漿」在現代科技發展的應用

能源技術

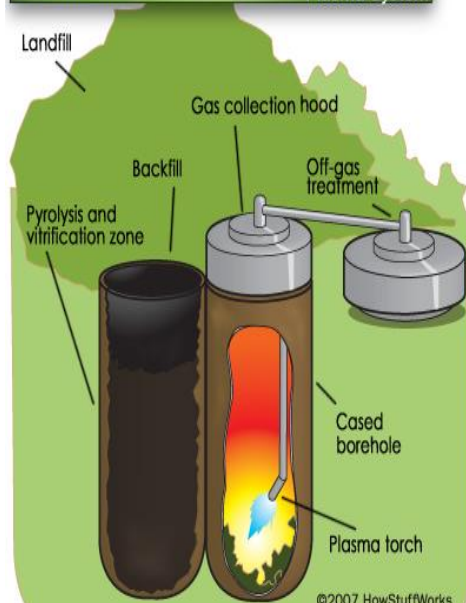


電漿氣化 (Plasma Gasification)



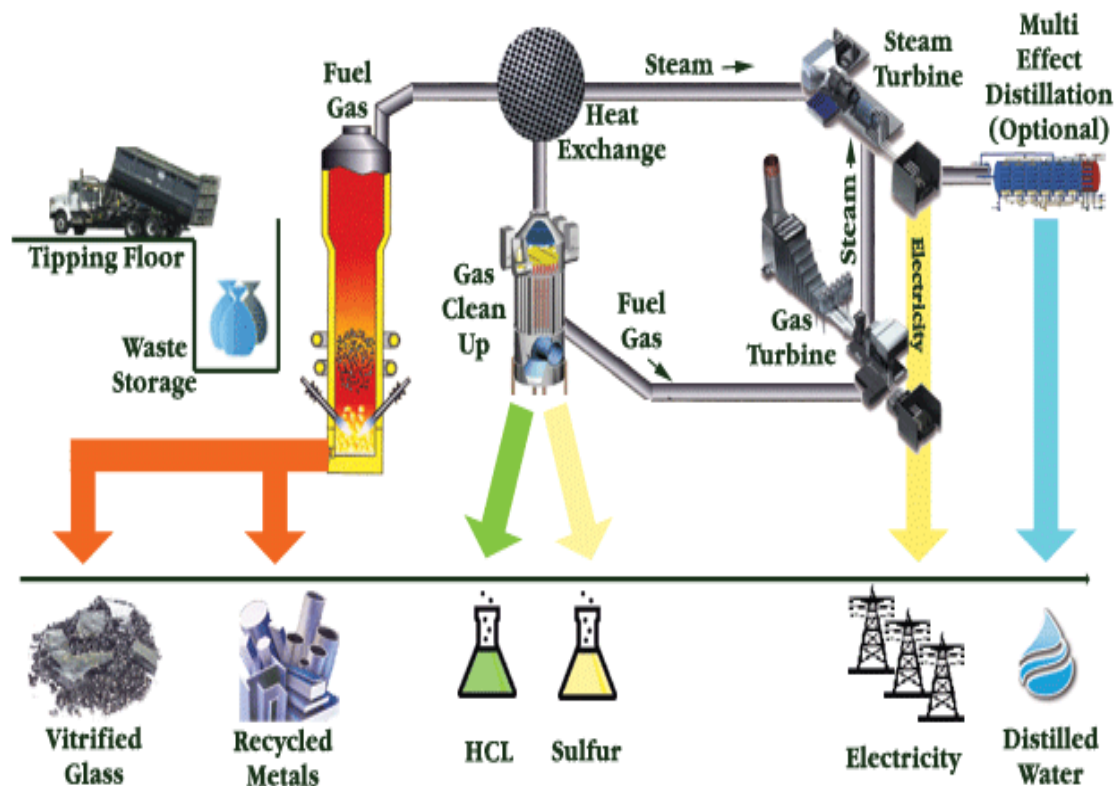
http://www.youtube.com/watch?v=n6xyRx_98Rc

How Plasma Converters Work: In-situ borehole Plasma System



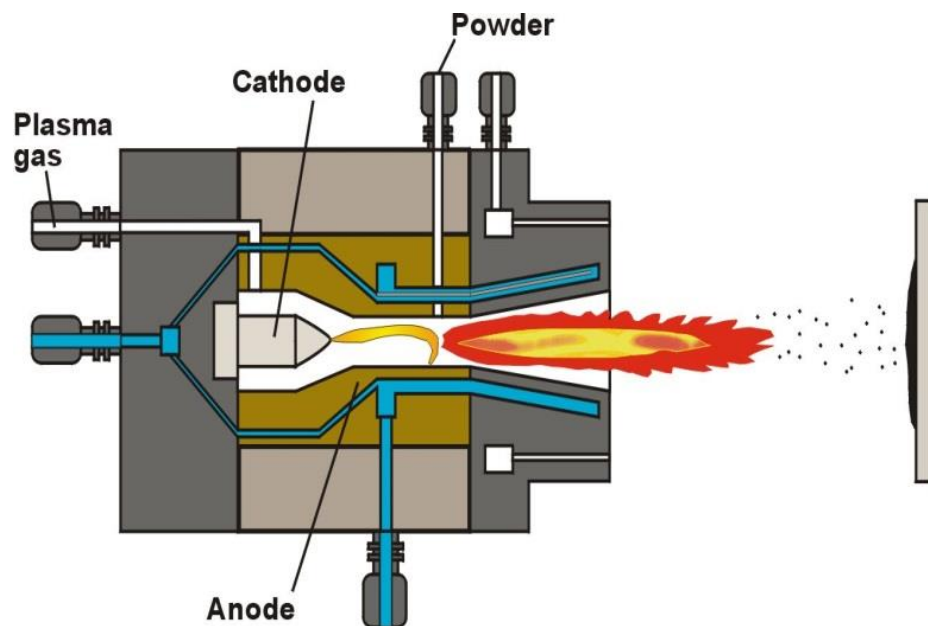
©2007 HowStuffWorks

<http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/plasma-converter6.htm>

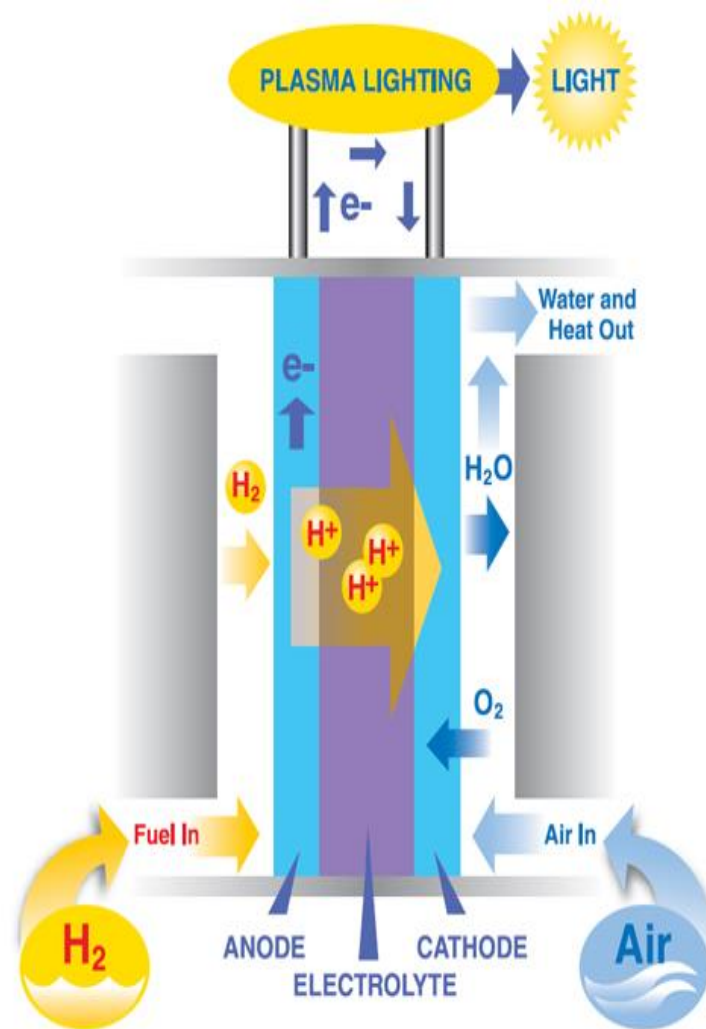


<http://recoveredenergy.com/overview.html>

固態燃料電池 (SOFC)



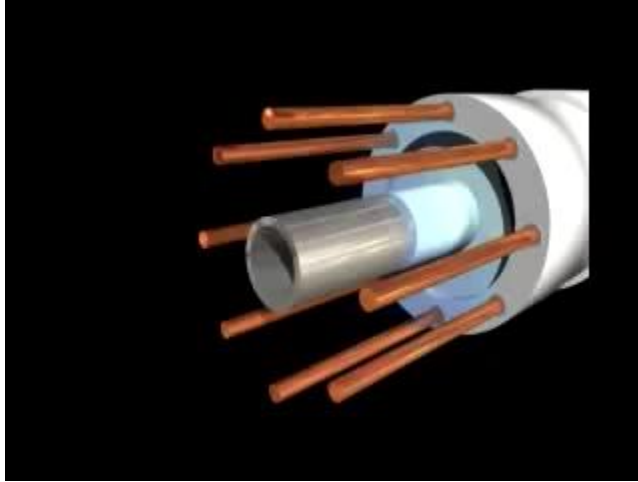
<http://www.mie.utoronto.ca/labs/cact/Research/DCPlasma/DCPlasma.html>



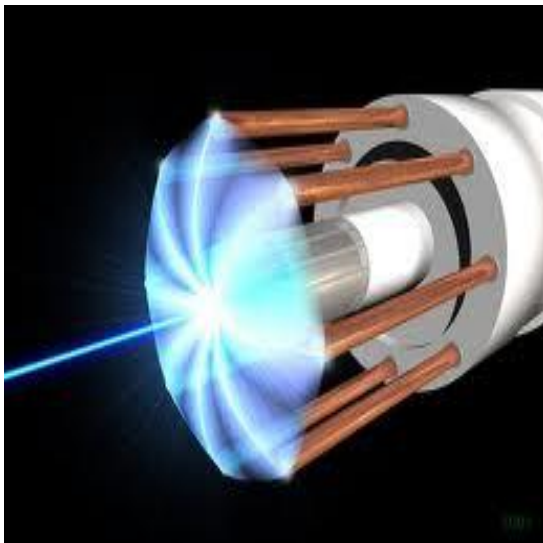
<http://www.multiquip.com/multiquip/h2lt.htm>



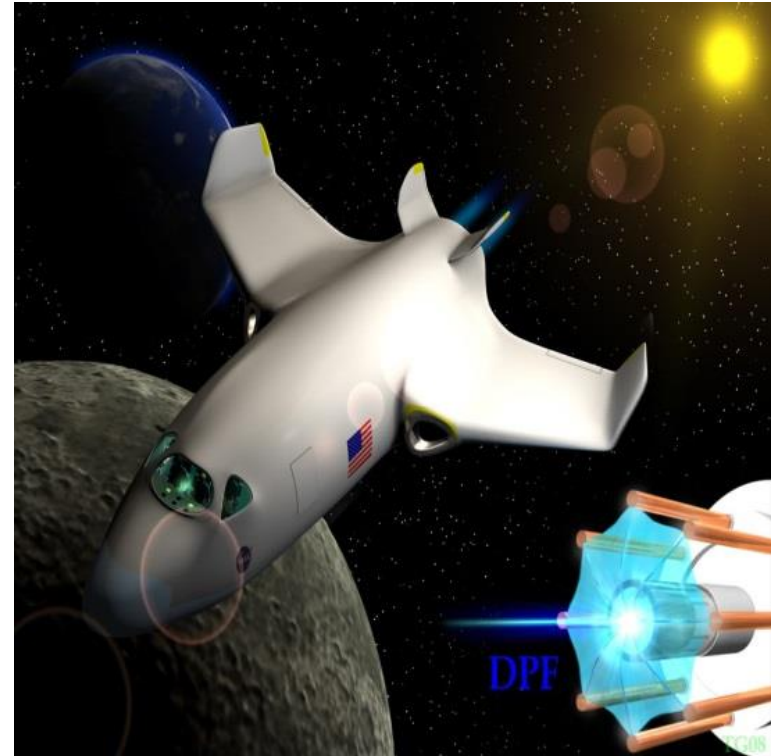
Dense Plasma Fusion (DPF)



<http://www.youtube.com/watch?v=QYzD0xetEv4>



<http://www.alternative-energy-action-now.com/dpf.html>



<http://www.talk-polywell.org/bb/viewtopic.php?t=487&postdays=0&postorder=asc&start=15>

電漿輔助燃燒 (Plasma-assisted combustion)

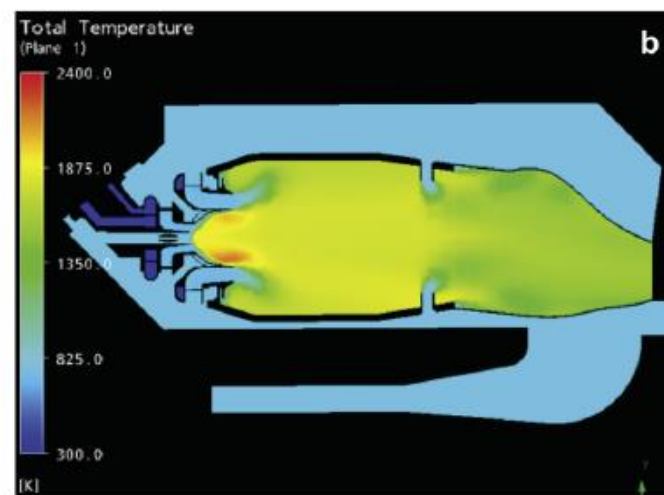
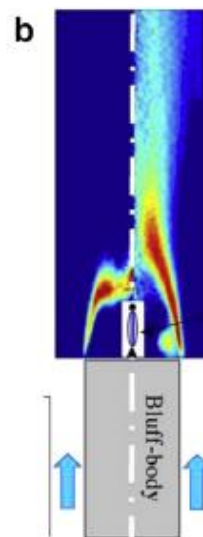
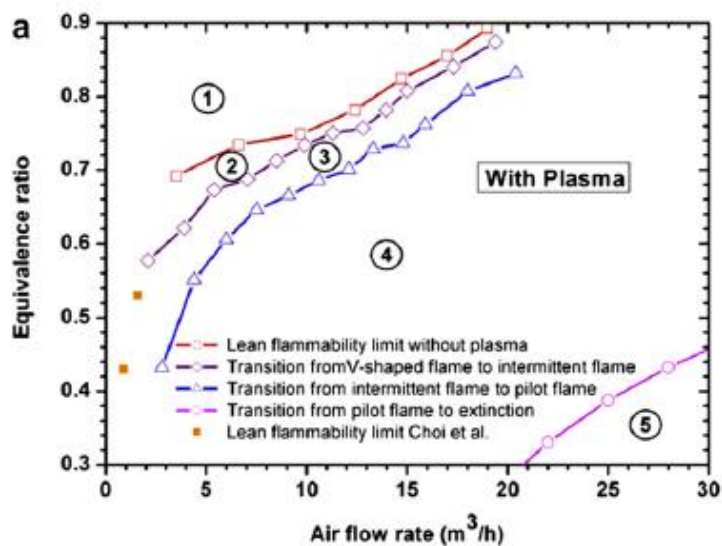
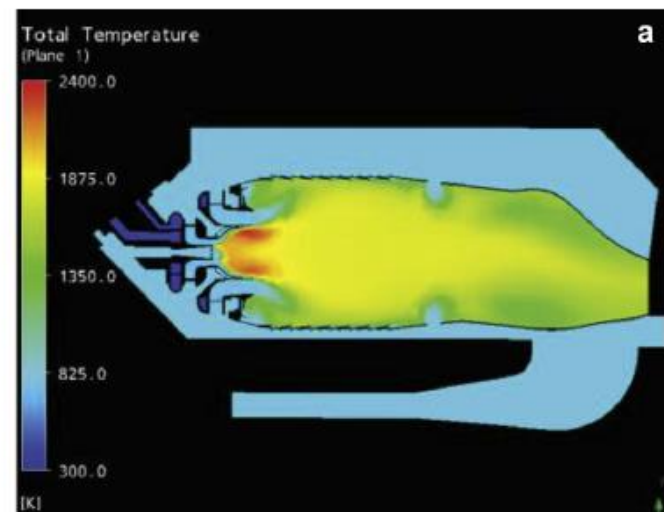


Fig. 10. Temperature field in the combustor: (a) basic case and (b) modified case [16].



ITER 計畫

International Thermonuclear Experimental Reactor

<http://www.iter.org/>

ITER's members — the EU, India, Russia, China, South Korea, Japan and the United States.

Formation 24 October 2007

Headquarters [Cadarache](#), [France](#)

Director-General Osamu Motojima



未來展望

- 電漿已被日本文部科學省認定為人類未來一百年「四大科技」之一, 可見其重要性.
- 過去30年, 低溫電漿扮演著隱形的科技發動機的角色, 現在與未來亦將扮演更加重要的角色.
- 台灣應該要擺脫僅是電漿使用者的角色, 而以「電漿基礎與應用」研發者自居.
- 政府應該成立電漿科學與工程的「人才教育平台」, 同時應大力投資成立「國家級研究中心」. 否則, 在可見將來, 台灣將在此重要科技領域喪失大好良機!

Thanks for your attention!