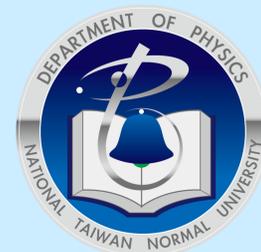




# 電壓操控奈米磁性元件的新穎機制研發： 利用電場引導氫化磁性材料的磁矩轉向

Wen-Chin Lin (林文欽)  
Department of Physics, National Taiwan Normal University  
Email: [wclin@ntnu.edu.tw](mailto:wclin@ntnu.edu.tw)



## 摘要

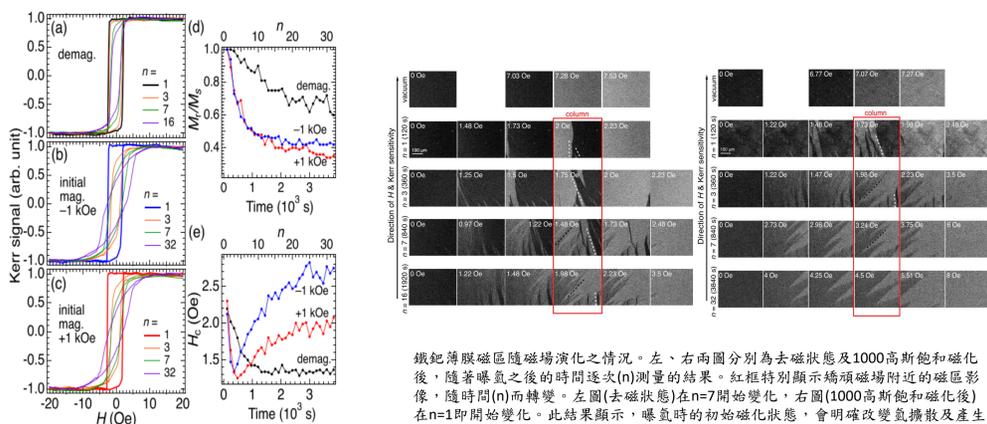
本計畫提出透過電場操控以氫離子在磁性金屬材料中移動，以操控材料的磁性特性，最終目標為磁紀錄元件的讀寫。此構想需要從物理機制、材料選擇等層面突破多重挑戰，例如元件中的H原子的來源、H原子的操控機制、H原子的擴散的速率及反應時間等。本團隊預計採用Mg合金為儲氫材料，預選擇Pd-相關垂直磁性合金薄膜透過上下電極施予電壓，造成局域電場以驅動儲氫材料內的氫重新擴散分布。

## 目標

1. 磁性儲氫薄膜成長與最佳化
2. 利用電壓對磁性儲氫薄膜之磁性操控
3. 應用於穿隧磁阻(MTJ)元件

## 磁性儲氫薄膜探究 (1) CoPd、FePd 磁性合金薄膜及微結構

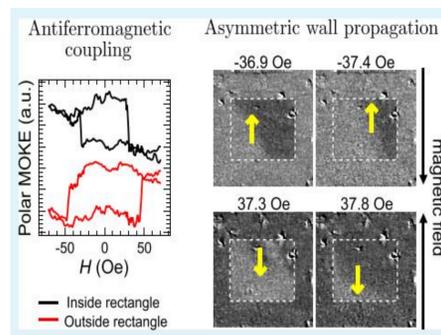
Exchange-bias dependent diffusion rate of hydrogen discovered from evolution of hydrogen-induced noncollinear magnetic anisotropy in FePd thin films  
氫擴散速率受FePd薄膜磁化狀態之影響 PRB (2021)



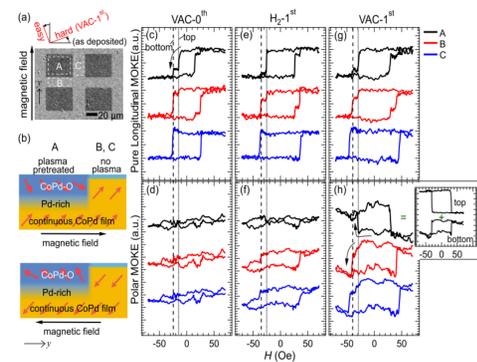
鐵鈮薄膜磁矩隨磁場演化之情況。左、右兩圖分別為去磁狀態及1000高斯飽和磁化後，隨著曝氫之後的時間逐次(n)測量的結果。紅框特別顯示矯頑磁場附近的磁區影像，隨時間(n)而轉變。左圖(去磁狀態)在n=7開始變化，右圖(1000高斯飽和磁化後)在n=1即開始變化。此結果顯示，曝氫時的初始磁化狀態，會明確改變氫擴散及產生效應的速度。

不同磁化狀態下: (a)去磁態、(b)-1000高斯磁化、(c)+1000高斯磁化的鐵鈮薄膜，自氫化開始隨時間不斷地量測磁滯曲線。(d)殘磁比例、(e)矯頑磁場隨氫化時間之變化圖。此數據顯示，去磁化樣品，相較於1000高斯磁場飽和樣品，其氫化擴散速度明顯較慢。

Chirality-Induced Noncollinear Magnetization and Asymmetric Domain-Wall Propagation in Hydrogenated CoPd Thin Films,  
磁手信導致非線性磁化及不對稱磁疇壁傳播於氫化鈷鈉薄膜  
ACS Appl. Mater. Interfaces (2022)

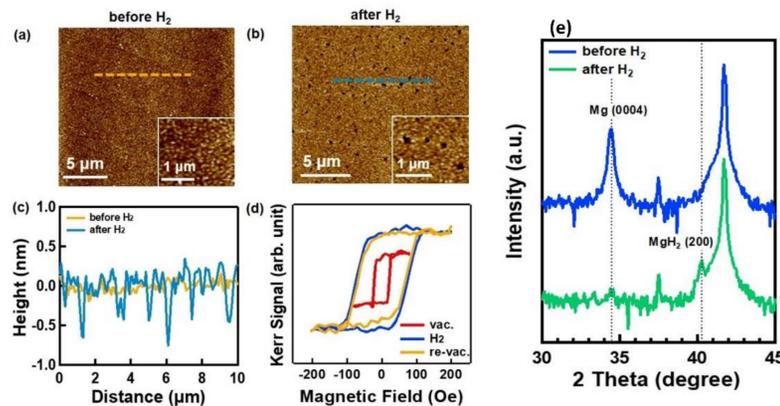


左圖:在有和沒有電壓處理的區域之間，垂直分量產生了橫向反鐵磁耦合。  
右圖:在磁化反轉過程中，表面電壓處理過區域中的磁疇壁有不對稱傳播的現象。

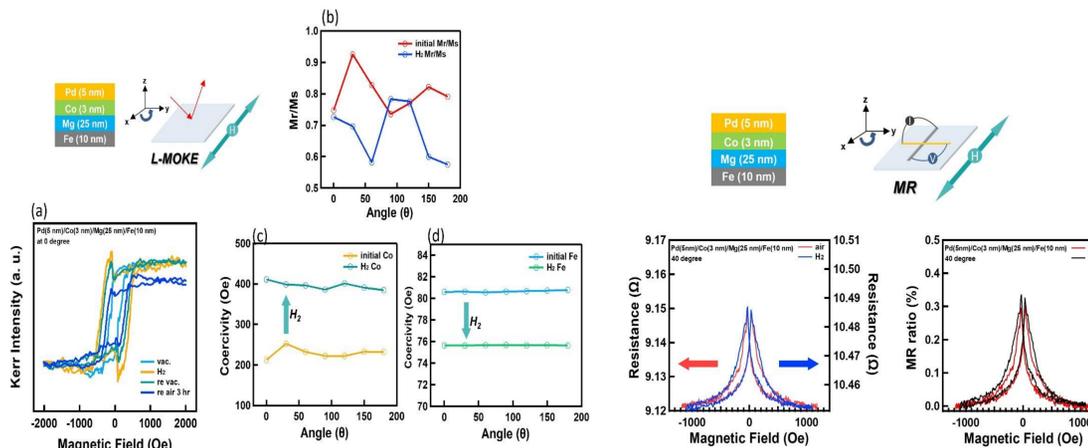


(a)圖氫化CoPd合金樣品之垂直極化 MOKE 影像。區域A 受過表面電壓處理，區域B和C 則否。(b)圖示區域A之剖面，不同深度下的成分分佈依序為: 氫化-CoPd/Pd-高合金比例/CoPd。區域B和C 只有相對較薄的氧化層在表面。紅色箭頭指示不同區域的磁化方向。(c-h)縱向及極化MOKE磁滯曲線，分別量測於初始真空VAC-0th階段(c and d)、首次氫化H<sub>2</sub>-1st階段(e and f)、以及再次真空VAC-1st階段(g and h)。黑色、紅色、藍色曲線分別表示區域A、B、C的測量數據。(h)的小圖將區域A的磁滯曲線拆解成上、下層的兩部份貢獻。

## 磁性儲氫薄膜探究 (2) Pd/Co/Mg、Pd/Co/Mg/Fe多層膜系統



使用原子力顯微鏡對Pd/Co/Mg多層膜進行氫化前後的表面形貌量測圖。右下角的放大圖中可以明顯看到樣品氫化之後，產生奈米尺寸的回洞。(c)剖面曲線顯示，樣品表面形貌由0.1奈米的平整度，受氫化而轉變為~0.5奈米深度的回洞陣列。(d)呈現曝氫前後的磁滯曲線量測結果。氫化造成矯頑磁場大幅增加，但是再次回到真空環境，並不會使磁性回復初始狀態，顯示其為不可逆效應。(e)樣品氫化前後所量測之X光晶格量測曲線，顯示室溫、1大氣壓的氫化條件，成功地將原來的純Mg轉變為氫化鎂MgH<sub>2</sub>。

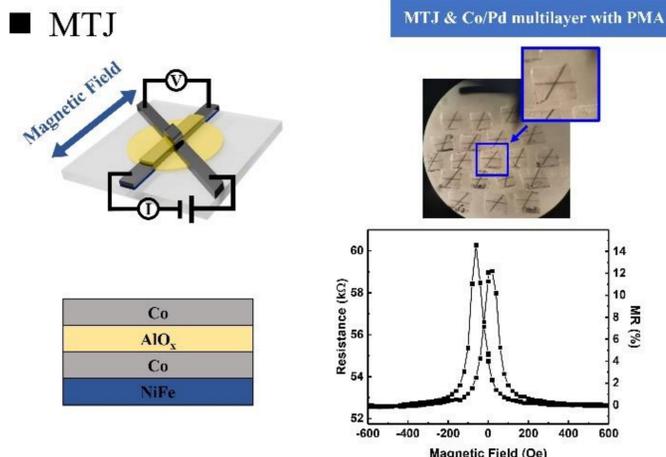


(a) Pd/Co/Mg/Fe多層膜結構氫化前後所量測的縱向MOKE磁滯曲線。(b)樣品氫化前後的殘磁比對於水平量測角度所繪製之數據圖，由此可明顯看出其明顯地磁性變化。(c)、(d)上層Co與下層Fe氫化前後的矯頑磁場(Coercivity)對於水平量測角度所繪製之數據圖。上層Co氫化後的矯頑磁場由200 Oe增加一倍為400 Oe。下層Fe氫化後的矯頑磁場由80 Oe減少約10% 為76 Oe。

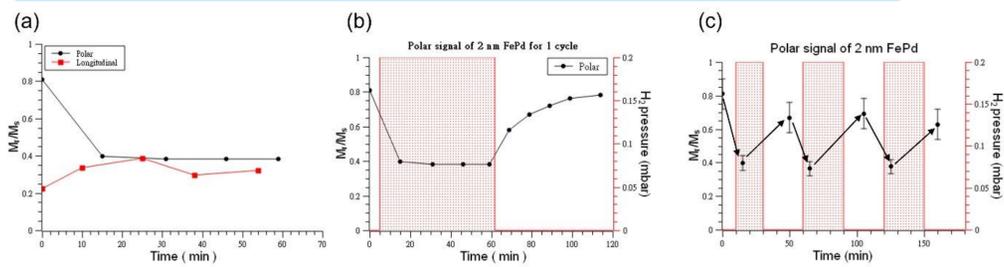
Pd/Co/Mg/Fe多層膜結構，氫化前後量測所得之磁阻曲線圖。左圖為原始電阻值，右圖為歸一化之磁阻變化值。

## 元件應用 - 穿隧磁阻元件 (MTJ)

下圖為子計畫主持人: 淡江物理洪振湧教授研究團隊所製備的穿隧磁阻元件，使用氧化鋁介面可達14%的磁阻變化。基於此成功可行的MTJ架構，我們將逐步加入磁性氫化層，藉以研究氫操控與磁阻變化之關聯性。



## 磁性儲氫薄膜探究 (3) FePd/PMA系統



在2 nm-FePd/[Co/Pt]<sub>4</sub>的多層膜樣品中，氫化導致垂直磁軸轉為傾斜，(a)其垂直殘磁率由0.8隨時間遞減為0.4，(b)當樣品回復真空環境之後，約1小時可以使垂直殘磁率再回復到0.8。(c)氫化造成垂直磁軸轉為傾斜的現象可以重複多次變化。

## 未來展望

本計畫執行至今約10個月，本團隊除了將之前在CoPd、FePd的研究成果陸續發表之外，已經開發數個與鎂儲氫特性相關的多層膜系統。我們對這些材料系統的氫化磁性行為已有充分掌握，將陸續研究其受電壓、電流之操控，進而與正在研究中的MTJ系統整合，希望能在下一年度有更明確的應用效能。