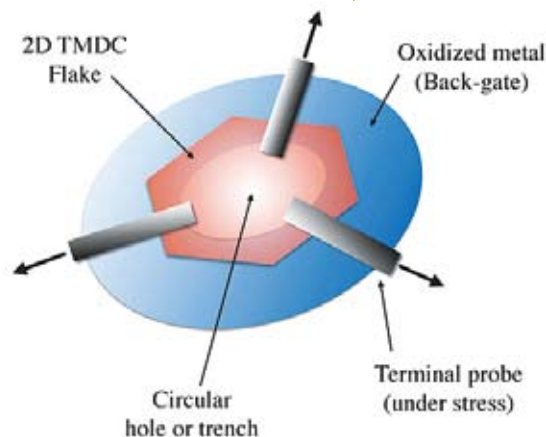




本校物理系米格爾教授



米格爾教授所提出，由半導體的過渡金屬二硫化物奈米晶體（如 MoS_2 ）所組成，可產生量子霍爾效應的元件。晶體是放置於一個溝或洞上並透過電極連接到外界。這個溝或洞的結構使得自旋電子流可以避免受到晶體不規則邊界的影響而產生不必要的散射

米格爾老師單層石墨烯研究獲「物理評論通訊」、「自然通訊」刊登

物理系去年新聘的西班牙籍米格爾（Miguel Cazalilla）教授在今年以清華大學的名義連續發表數篇與單層石墨烯的電子自旋流性質相關的重要研究論文。其中有兩篇發表於頂尖的物理期刊，物理評論通訊（Phys. Rev. Lett.），另一篇發表於國際著名期刊英國「自然」雜誌的「自然通訊」（Nature Communications），研究成果皆已獲得刊登[1-3]。

米格爾教授表示，1945年諾貝爾物理獎得主，量子力學與固態物理的奠基者之一，包利（Wolfgang Pauli），曾說：「上帝創造塊材，但魔鬼製造了它的表面。」這表示一般塊材的表面性質並不容易以當時所知的物理原理來理解。但諷刺的是，20世紀後半的科學技術發展使得人類在表面科學上的控制能力與物理性質了解越發成熟，甚至包括對電腦運算無比重要的電晶體都是表面科學的

應用。近些年所發現的石墨烯材料，更是純粹的二維表面結構。這些發明當然也為人類生活的福祉帶來巨大的改變，卻是包利當年所想像不到的發展。

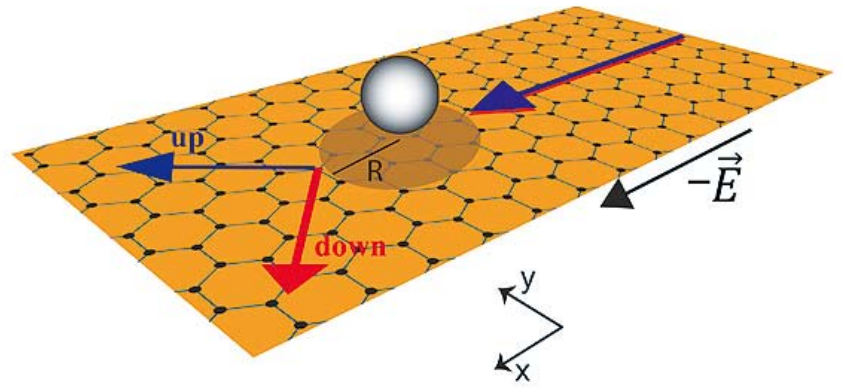
但是包利對於電子「自旋」的數學理解也同時成為未來科技的重要應用。隨著材料技術的進度與維度的降低，電子自旋已經不再是一群電子的性質，而是可以單獨測量並控制的物理量，可用來作資訊儲存的最小單位並進行運算。這在未來量子資訊的應用方面有著莫大的重要性。

要進一步利用電子自旋來作運算，如何產生並控制電子自旋流（electron spin current），並使之成功地連結到資訊儲存的設備而不會受到連結界面的影響，就會是整個應用技術的關鍵。在這個重要問題上，新加坡國立大學Ozyilmaz的實驗團隊發現這個情形在用化學蒸鍍法所製成的二維的石墨烯材料有不

一樣的表現：通過金屬銅的界面所產生的石墨烯電流會自動有自旋流，也就是所謂的自旋霍爾效應（spin Hall effect）。

米格爾與其國外合作者針對這個實驗現象，提出以自旋軌道耦合並金屬界面的共振效應為基礎的完整理論解釋，發表於國際著名的物理期刊，物理評論通訊（Physical Review Letter）[1]。而其理論所預測的自旋電子流強度也被後來的實驗所進一步證實，與Ozyilmaz的實驗團隊一同發表於自然通訊期刊（Nature Communications）[2]。

然而藉由自旋霍爾效應所產生的自旋流仍然是個由雜質所引起的耗散過程，並不利於進一步的元件開發與應用。90年代其他研究者曾提出量子自旋霍爾效應的方式來解決此一難題，但所需要的實驗材料與化學方法常常讓所測量到的結果無法合理地解釋或預測。在這樣的情況下，米格爾



產生自旋電子流的主要的機制（自旋霍爾效應）：當施加一電場於石墨烯時，電子流會與銅原子群發生共振的散射，增加本來覆蓋有鈷原子的石墨烯上的自旋軌道耦合，而使自旋向上的電子與自旋向下的電子往相反方向移動

教授與其理論團隊更進一步提出不同的機制，藉由物理性的壓強或是將實驗材料連結到一些甚至本來是絕緣體的二維晶體，如Boron Nitride，就可以很容易的實現量子自旋霍爾效應。相關的理論工作也已經發表於物理評論通訊[3]，並且為下一代的表面與低維度元件材料開啓全新的方向。

REFERENCES

[1] Extrinsic Spin Hall Effect Induced by Resonant Skew Scattering in Graphene A. Ferreira,

T. G. Rappoport, M. A. Cazalilla, and A. H. Castro-Neto, Phys. Rev. Lett. 112, 066601 (2014) .

[2] J. Balakrishnan, G.-K. Wai Koon, A. Avsar, Y. Ho, J. H. Lee, M. Jaiswal, S.-J. Baeck, J.-H. Ahn, Aires Ferreira, M. A. Cazalilla, A. H. Castro-Neto, and B. Ozyilmaz, Nature Communications 5, 4748 (2014)

[3] M. A. Cazalilla, H. Ochoa, and F. Guinea Phys. Rev. Lett. 113, 077201 (2014) .