



石墨烯之超導性概論

Introduction to Superconducting Graphene

張志振

工研院機械所 先進機械技術組

摘要

石墨烯為一新興固態材料，其特殊的物理特性不斷被揭露，近期又發現某些結構化石墨烯具有超導性。本文試以主要篇幅解釋其超導性，並與既有實驗數據比對，從而建立石墨烯超導性之判則，並期待協助推升國內石墨烯技術產業化。

Abstract

Graphene is a newly developed two-dimensional substance, of which more and more physical properties have been disclosed by solid-state physics. Recently, superconductivity of some structural graphene has also been discovered. In this article, a methodology to judge the superconducting graphene is developed, in hopes of industrializing graphene in this country.

關鍵詞

石墨烯、超導性、層間帶

Keywords

Graphene、Superconducting、Interlayer Band

導論

石墨烯是由石墨塊材剝離的一層碳原子平面結構，也就是單原子層的石墨片。其中每個碳原子的 sp^2 軌域(orbitals) [1]中的三個電子與相臨的三個碳原子形成平面共價鍵結，稱為 σ 鍵，鍵角 120 度，使得石墨烯二維晶格呈現正六邊形；另一個 p_z 軌域，狀似雙橢球，位於晶格平面(xy 平面)的上下兩側，其二維及三維視界結構如圖 1 所示。

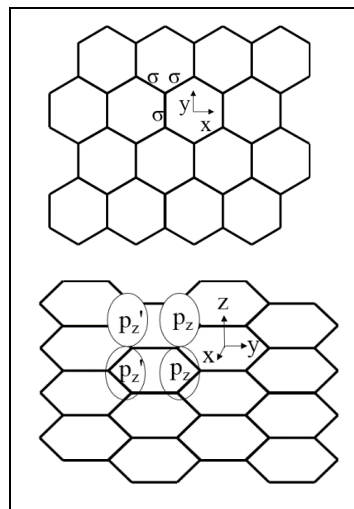


圖 1
石墨烯之二
維晶格結構

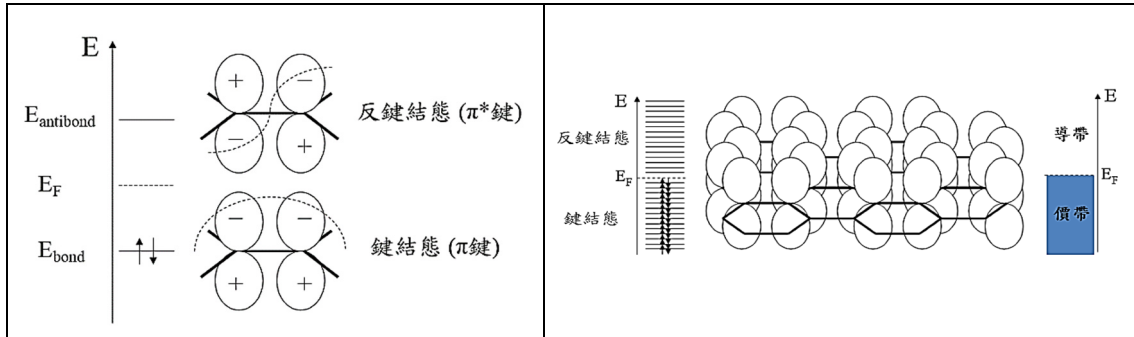


圖 2 石墨烯之鍵結態與反鍵結態與兩個 p_z 軌域示意[1]

圖 3 石墨烯之能帶形成示意

如果只考慮相臨的兩個 p_z 軌域(另一個記為 p_z')中的兩個電子,它們經由電磁力耦合(coupling)[1],形成鍵結態(π 鍵)與反鍵結態(π^* 鍵)前者能量較低而後者較高,如圖 2 所示。在非高溫環境下,兩電子遵循泡立(W. Pauli)不共容原理以最低能量方式填滿結態態,箭號代表電子及其自旋方向。其中 p_z 軌域仍以雙橢球體表示,繪製於碳原子平面(xy 平面)之上下兩側,負號表示兩個電子出現在兩個 p_z 軌域的相對位置,正負號互易則表示電子相對位置的另一種可能情況,兩種情況發生的機率各為 50%。虛線表示兩個 p_z 軌域電子之空間複合波函數之振幅,由於耦合對稱性,鍵結態為偶函數,反鍵結態為奇函數,兩個態的對稱位置則為費米能量 E_F 。

進一步而言,如果考慮多個 p_z 軌域電子,其鍵結態與反鍵結態將分立為複數個;再進一步,如果考慮所有 p_z 軌域中的電子,那麼分立的能階(energy levels)將變為連續的能帶(energy bands), p_z 電子此時鍵結態稱為 π 能態或價帶,反鍵結態稱為 π^* 能態或導帶,此情況,導帶與價帶之間並無能

隙(energy gap),如圖 3 所示。

將上述的原理應用在石墨烯二維晶格中,考慮一個碳原子僅與相臨的碳原子形成鍵結態,而一個碳原子與三個碳原子相臨,因此如果某個碳原子 p_z 軌域電子則與臨近的三個碳其中一個 p_z 軌域電子形成鍵結態。根據對稱性,石墨烯二維晶格以 z 軸旋轉一周具有三種對稱性($360^\circ = 120^\circ \times 3$),以 xy 平面為鏡像平面又有兩種對稱性,故其基礎態共有六重對稱,如圖 4 所示。在絕對零度下,任一種狀態皆為該六種基礎態的線性組合,意謂 π 鍵可以在晶格平面的六個對稱方向上同步互易位置,使電流在各方向上流通,一如化學家庖林(L. Pauling)所言之 π 鍵共振。在共振條件下,電路阻抗最小[2],進而暗示了石墨烯的超導性。

直鏈共軛烯之能帶特性

為求由簡而繁地解析石墨烯之超導性,將先行解構結構最為簡單的烯類化合物之能帶特性,而烯類化合物中結構最為簡單的就是乙烯,如圖 5 所示。乙烯的兩

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】411期・106年6月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw