

要理解這幾個概念，首先要理解晶體概念，以及晶粒概念。我想學固體物理的或者金屬材料的都會對這些概念很清楚！

自然界中物質的存在狀態有三種：氣態、液態、固態

固體又可分為兩種存在形式：晶體和非晶體

晶體是經過結晶過程而形成的具有規則的幾何外形的固體；晶體中原子或分子在空間按一定規律週期性重復的排列。

晶體共同特點：

均 勻 性： 晶體內部各個部分的宏觀性質是相同的。

各向異性： 晶體種不同的方向上具有不同的物理性質。

固定熔點： 晶體具有週期性結構，熔化時，各部分需要同樣的溫度。

規則外形： 理想環境中生長的晶體應為凸多邊形。

對 稱 性： 晶體的理想外形和晶體內部結構都具有特定的對稱性。

對晶體的研究，固體物理學家從成健角度分為

離子晶體

原子晶體

分子晶體

金屬晶體

顯微學則從空間幾何上來分，有七大晶系，十四種布拉菲點陣，230種空間群，用拓撲學，群論知識去研究理解。可參考《晶體學中的對稱群》一書（郭可信，王仁卉著）。

與晶體對應的，原子或分子無規則排列，無週期性無對稱性的固體叫非晶，如玻璃，非晶碳。一般，無定型就是非晶 英語叫 **amorphous**，也有人叫 **glass**(玻璃態)。

晶粒是另外一個概念，搞材料的人對這個最熟了。首先提出這個概念的是凝固理論。從液態轉變為固態的過程首先要成核，然後生長，這個過程叫晶粒的成核長大。晶粒內分子、原子

都是有規則地排列的，所以一個晶粒就是單晶。多個晶粒，每個晶粒的大小和形狀不同，而且取向也是凌亂的，沒有明顯的外形，也不表現各向異性，是多晶。英文晶粒用 **Grain** 表示，注意與 **Particle** 是有區別的。

有了晶粒，那麼晶粒大小（晶粒度），均勻程度，各個晶粒的取向關係都是很重要的組織（組織簡單說就是指固體微觀形貌特徵）參數。對於大多數的金屬材料，晶粒越細，材料性能（力學性能）越好，好比麵團，顆粒粗的麵團肯定不好成型，容易斷裂。所以很多冶金學家材料科學家一直在開發晶粒細化技術。

科學總是喜歡極端，看得越遠的鏡子叫望遠鏡；看得越細的鏡子叫顯微鏡。晶粒度也是這樣的，很小的晶粒度我們喜歡，很大的我們也喜歡。最初，顯微鏡倍數還不是很高的時候，能看到微米級的時候，覺得晶粒小的微米數量是非常小的了，而且這個時候材料的力學性能特別好。人們習慣把這種小尺度晶粒較微晶。然而科學總是發展的，有一天人們發現如果晶粒度在小呢，材料性能變得不可思議了，什麼量子效應，隧道效應，超延展性等等很多小尺寸效應都出來了，這就是現在很熱的，熱得不得了納米，晶粒度在 $1\text{nm}-100\text{nm}$ 之間的晶粒我們叫納米晶。

再說說非晶，非晶是無規則排列，無週期無對稱特徵，原子排列無序，沒有一定的晶格常數，描敘結構特點的只有徑向分佈函數，這是個統計的量。我們不知道具體確定的晶格常數，我們總可以知道面間距的統計分佈情況吧。非晶有很多誘人的特性，所以也有一幫子人在成天做非晶，尤其是作大塊的金屬非晶。因為它的應力應變曲線很特別。前面說了，從液態到到固態有個成核長大的過程，我不讓他成核呢，直接到固態，得到非晶，這需要很快的冷卻速度。所以各路人馬一方面在拼命提高冷卻速度，一方面在不斷尋找新的合金配方，因為不同的合金配方有不同的非晶形成能力，通常有 **T_g** 參數表徵，叫玻璃化溫度。非晶沒有晶粒，也就沒有晶界一說。也有人曾跟我說過非晶可以看成有晶界組成。那麼另一方面，我讓他成核，不讓他長大呢，不就成了納米晶。

人們都說，強扭的瓜不甜，既然都是抑制成核長大，那麼從熱力學上看，很多非晶，納米晶應該不是穩態相。所以你作出非晶、納米晶了，人們自然會問你熱穩定性如何。

後來，又有一個牛人叫盧柯，本來他是搞非晶的，讀研究生的時候他還一直想把非晶的結構搞清楚呢（牛人就是牛人，選題這麼牛，非晶的結構現在人們還不是很清楚）。他想既然我把非晶做出來了，為什麼我不可以把非晶直接晶化成納米晶呢，納米晶熱啊，耶，這也是一種方法，叫非晶晶化法。

既然晶界是一種缺陷，缺陷當然會影響材料性能，好壞先不管他，但是總不好控制。如果我把整個一個材料做成一個晶粒，也就是單晶，會是什麼樣子呢，人們發現單晶確實會有多晶非晶不同的性能，各向異性，誰都知道啊。當然還有其他的特性。所以很多人也在天天搗鼓著，弄些單晶來。

現在不得不說准晶。准晶體的發現，是 20 世紀 80 年代晶體學研究中的一次突破。這是我們做電鏡的人的功勞。1984 年底，D.Shechtman 等人宣佈，他們在急冷凝固的 Al-Mn 合金中發現了具有五重旋轉對稱但並無無平移週期性的合金相，在晶體學及相關的學術界引起了很大的震動。不久，這種無平移同期性但有位置序的晶體就被稱為准晶體。後來，郭先生一看，哇，我們這裡有很多這種東西啊，抓緊分析，馬上寫文章，那段金屬固體原子像的 AP, PRL 多的不得了，基本上是這方面的內容。准晶因此也被 D.Shechtman 稱為“中國像”。

斑竹也提到過孿晶，英文叫 twinning，孿晶其實是金屬塑性變形裡的一個重要概念。孿生與滑移是兩種基本的形變機制。從微觀上看，晶體原子排列沿某一特定面鏡像對稱。那個面叫孿晶面。很多教科書有介紹。一般面心立方結構的金屬材料，滑移系多，已發生滑移，但是特定條件下也有孿生。加上面心立方結構層錯能高，不容易出現孿晶，曾經一段能夠在面心立方裡發現孿晶也可以發很好的文章。前兩年，馬恩就因為在鋁裡面發現了孿晶，發了篇 Science 呢。盧柯去年也因為在納米銅裡做出了很多孿晶，既提高了銅的強度，又保持了銅良好導電性（通常這是一對矛盾），也發了個 Science。這年頭 Science 很值錢啊。像一個窮山溝，除了個清華大學生一樣。

現在，從顯微學上來看單晶，多晶，微晶，非晶，准晶，納米晶，加上孿晶。單晶與多晶，一個晶粒就是單晶，多個晶粒就是多晶，沒有晶粒就是非晶。單晶只有一套衍射斑點；多晶的話，取向不同會表現幾套斑點，標定的時候，一套一套來，當然有可能有的斑點重合，通過多晶衍射的標定可以知道晶粒或者兩相之間取向關係。如果晶粒太小，可能會出現多晶衍射環。非晶衍射是非晶衍射環，這個環均勻連續，與多晶衍射環有區別。

納米晶，微晶是從晶粒度大小角度來說的，在大一點的晶粒，叫粗晶的。在從衍射上看，一般很難作納米晶的單晶衍射，因為最小物鏡光欄選區還是太大。有做 NBED 的麼，不知道這個可不可以。

孿晶在衍射上的表現是很值得我們學習研究的，也最見標定衍射譜的功力，大家可以參照郭可信，葉恒強編的那本《電子衍射在材料科學中應用》第六章。

准晶，一般晶體不會有五次對稱，只有 1, 2, 3, 4, 6 次旋轉對稱（這個證明經常作為博士生入學考試題，呵呵）。所以看到衍射斑點是五次對稱的，10 對稱的啊，其他什麼的，可能就是准晶。

