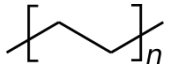
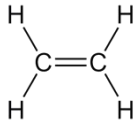
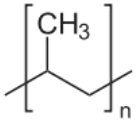
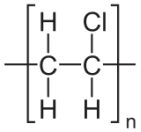
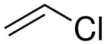
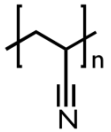
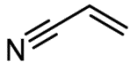
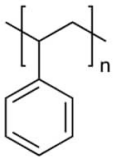
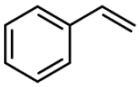
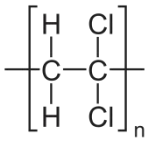
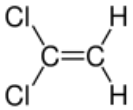
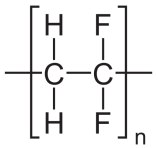
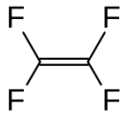
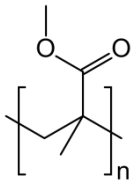
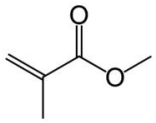
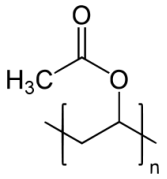
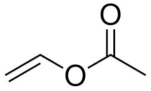
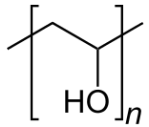
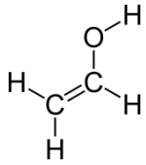
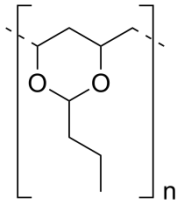
重要聚合物

工業塑膠 Industrial plastics

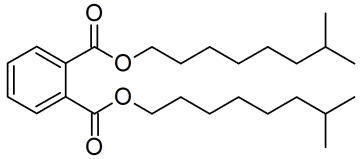
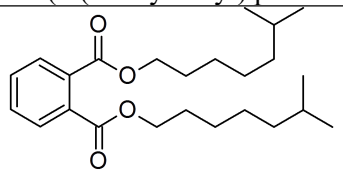
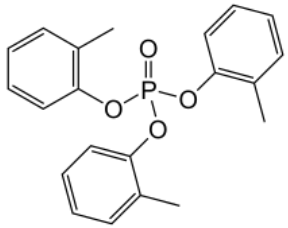
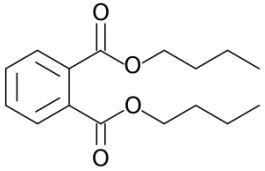
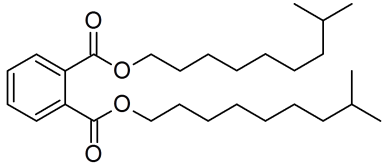
聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
聚乙烯 PE		乙烯		1) 耐熱性差，在 50℃以上氧化變色 2) 低密度 / 高密度聚乙烯（LDPE / HDPE） 3) 塑膠袋、保鮮膜
聚丙烯 PP		丙烯		1) 產量最多的塑膠 2) Ziegler-Natta catalysis：等規立構聚合物 3) Bio-PP 生物塑膠 4) 奶瓶、塑膠袋、保鮮膜、口罩
聚氯乙烯 PVC		氯乙烯		1) 無規立構聚合物（atactic） 2) 使用大量塑化劑，可占總重 85% 3) 長時間光照、受熱會分解出氯乙烯；燃燒會釋放出戴奧辛 dioxin 4) 水管、地板、雨衣
聚丙烯腈 PAN		丙烯腈		1) 腈綸、奧綸 2) 幾乎都是丙烯腈和其他單體雜質共聚物 3) 奧綸纖維、人工毛料
聚苯乙烯 PS		苯乙烯		1) 高透明度塑膠 2) 防震、防潮、隔音、隔熱效果好 3) 養樂多瓶、泡麵碗、聚苯乙烯泡沫（保麗龍 styrofoam）

聚二氯乙烯		1,1-二氯乙烯		1) 薩綸、保鮮膜（已淘汰） 2) 微波爐加熱時容易浸析出化學物質，因此保鮮膜材料已被 PE 取代 3) 燃燒時會產生戴奧辛類物質
聚四氟乙烯 PTFE		四氟乙烯		1) 又稱特夫綸 Teflon、鐵氟龍、塑膠王 2) 抗酸抗鹼、抗各種有機溶劑、耐高溫、摩擦系數極低（< 0.1） 3) 不沾鍋、水管內層塗料、軸承、絕緣體
				4)
聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA		甲基丙烯酸甲酯		1) 又稱壓克力（acrylics） 2) 高品質透明塑膠 3) 屬於「工程塑料」（engineering plastics），有比一般塑料強的力學性質
聚乙酸乙烯酯 PVA		乙酸乙烯酯		1) 水性塗料、黏著劑（白膠水、 Elmer’s glue）、印刷裝訂
聚乙烯醇 PVOH		乙烯醇（不穩定）		1) 由鹼中水解 PVA 製備 2) 對皮膚無刺激性 3) 用甲醛處理，使聚合鏈 35% 羥基與甲醛縮合聚合形成六員環：維尼綸 vinylon 4) 透明膠水、乳化劑、感光劑、史萊姆（加入硼砂及其他硼氧化物）

聚乙烯醇縮丁醛 PVB		-	-	1) 由 PVOH 和丁醛縮合 2) 高溫高壓下發生接合使其透明度非常高 3) 光伏薄膜太陽能電池組件、汽車擋風玻璃、夾層玻璃

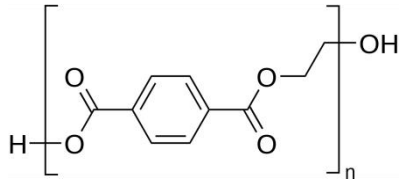
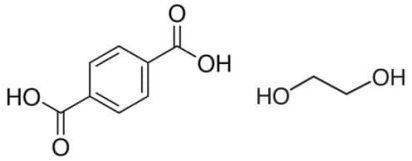
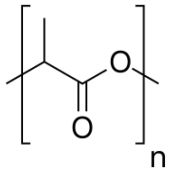
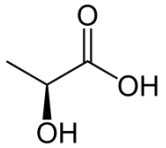
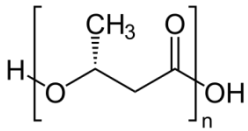
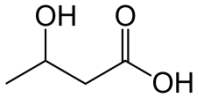
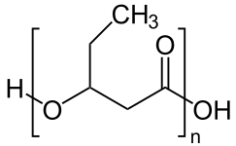
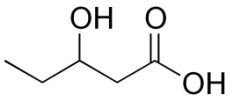
補充：塑化劑 Plasticiser

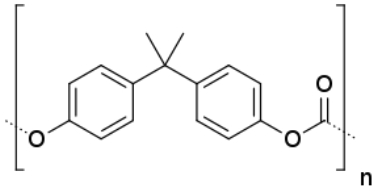
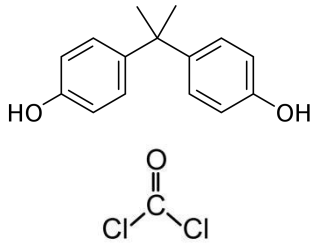
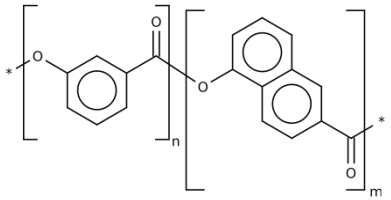
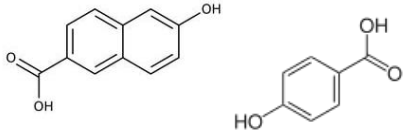
- 鄰苯二甲酸酯（Phthalates）：鄰苯二甲酸與 1～15 個碳的醇形成的酯
  1. 最常使用的重要塑化劑：DINP、DEHP、DBP 和 DIDP
  2. 截至今日，DEHP 是使用量最大的塑化劑，但因其有危險性，漸漸被毒性較低的 DINP、DIDP 取代
- 有機磷化合物（Organophosphates）：三鄰甲苯酚磷酸酯（Tricresyl phosphate, TCP）

DINP (diisononyl phthalate)	DEHP (di(2-ethylhexyl) phthalate)	TCP (Tricresyl phosphate)
		
DBP (di-n-butyl phthalate)	DIDP (diisodecyl phthalate)	
		

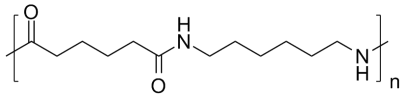
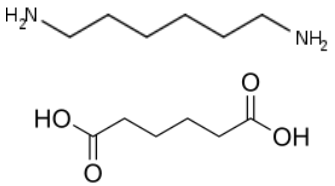
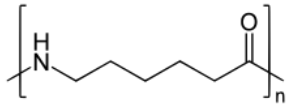
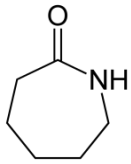
- 二羧酸 / 三羧酸酯類：馬來酸酯類、n 二酸酯類、偏苯三酸酯類
- 有許多更安全的非鄰苯二甲酸酯塑化劑，如可被生物降解的乙醯單酸甘油乙酯（Acetylated monoglyceride，可用作食品添加劑）和檸檬酸酯（Alkyl citrates，可用於食品包裝、醫療器材）

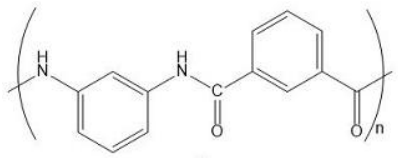
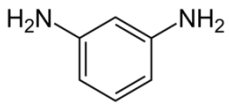
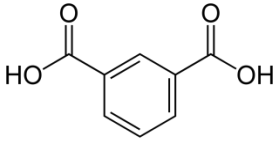
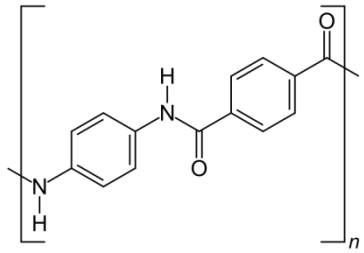
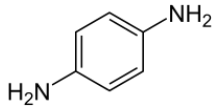
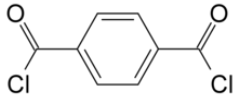
聚酯 Polyesters

聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
聚對苯二甲酸乙二酯 PET		對酞酸 乙二醇		1) 達克綸 Dacron 2) 可由特定細菌品種產生的 PET 水解酶（PETase）降解，並由其他細菌代謝為無害物質 3) 人造纖維、高張力強度薄膜（high tensile strength thin film），寶特瓶、雨衣
聚乳酸 PLA		乳酸 lactic acid		1) 製備：(1) 金屬催化劑（ex. butyl tin）催化的二聚乳酸酯開環聚合；(2) 共沸移除水的直接聚合 2) 以玉米、甘蔗提煉的乳酸為單體 3) 易潮解 4) 無毒、無刺激性、人體可降解 5) 手術縫合線、農作物用薄膜、紡織纖維
聚羥丁酯 PHB		3-羥基丁酸 3-hydroxybutyrate		1) 一種聚酯類聚合物、聚羥基烷酸酯（polyhydroxyalkanoates, PHA） 2) 可被特定細菌降解 3) 體內縫合材料、生物
聚羥戊酯 PHV		3-羥基戊酸		1) 可被特定細菌降解

聚碳酸酯 PC		雙酚 A 碳醯氯		1) 無色透明、無定型（amorphous）熱塑性材料；抗衝擊性良好 2) CD/VCD 光碟、奶瓶、樹酯鏡片、防彈玻璃、智慧型手機外殼
Vectran		6-羥基萘-2-乙酸、 對羥基苯甲酸		1) 芳香族聚酯纖維 aromatic polyester 2) 耐高溫、高強度 3) 繩子、電纜線、充氣式太空船（inflatable spacecraft）

聚醯胺 Polyamide

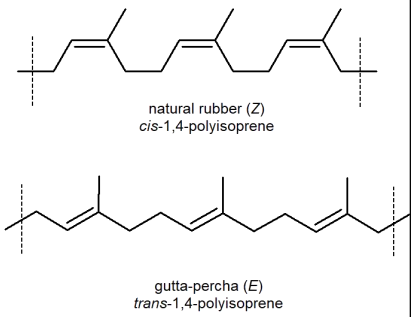
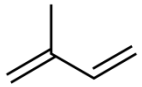
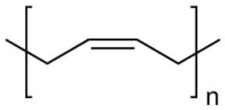
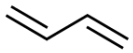
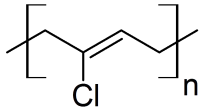
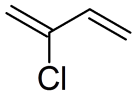
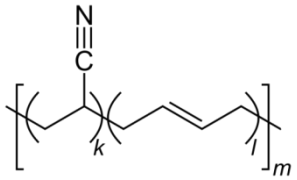
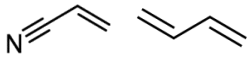
聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
奈綸 66		己二胺 乙二酸 （肥酸）		1) 高中實驗用乙二醯氯，工業上則一般使用己二酸 2) 釣魚線、繩索
奈綸 6		己內醯胺		1) 又稱聚己內醯胺 polycaprolactam，在氮氣中加熱進行開環聚合 2) 難以被生物分解的人造纖維

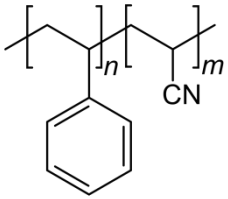
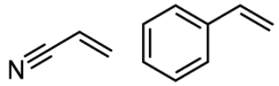
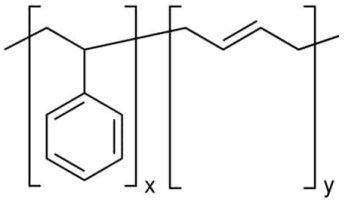
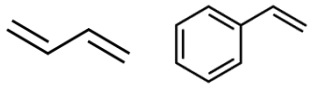
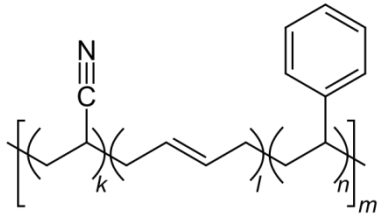
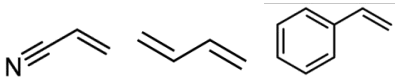
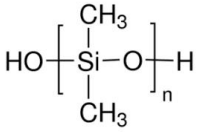
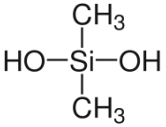
諾美斯 Nomex		間苯二胺 間苯二醯氯	 (*m*-Phenylenediamine)  (Isophthaloyl chloride)	1) IUPAC：聚間苯二甲醯間苯二胺 2) 芳香族聚醯胺纖維 aromatic polyamide（簡稱芳綸，aramid）是一類耐熱且強力的合成纖維 3) 耐熱型佳：防火纖維
克夫勒 Kevlar		對苯二胺 對苯二醯氯	 (*p*-Phenylenediamine)  (Terephthaloyl chloride)	1) IUPAC：對間苯二甲醯對苯二胺 2) 低導熱係數：低溫物理學（cryogenics）超導體研究的懸吊和固定 3) 高強度：防彈纖維、防護衣

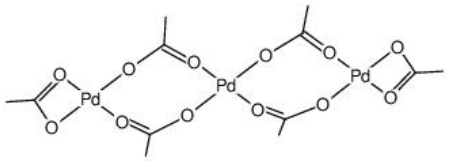
補充：Aramid 的製程

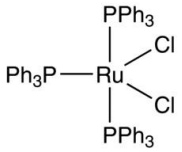
1. 紡絲原液：以氫氧化鈣或氨中和聚合溶液，在其靜態混合器中混入終止劑促進終止（chain termination，常見終止劑包含苯胺）。
2. 取得聚合物：化學氣相沉積（chemical vapour deposition），可產生純度高、效能好的固態材料薄膜。

橡膠 Rubber

聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
天然橡膠		異戊二烯		1) 加 8%硫增加彈性，若加入量達 30% ~ 50%，則成為難以塑形的硬相膠（詳細參考橡膠加工） 2) 分子間引力為凡德瓦力，軟而彈性不大 3) 聚合時難以控制產物的幾何異構物比例 4) 輪胎、橡皮管、手套
丁鈉橡膠		1,3-丁二烯		1) 與天然橡膠一樣，添加硫以增加彈性，但可塑性較差
新平橡膠 neoprene		2-氯-1,3-丁二烯		1) 耐熱、耐燃性高 2) 輪胎、汽油軟管等特殊輸送帶
丁腈橡膠 NBR		丙烯腈 丁二烯		1) 可以加入 1,3-丁二烯，1,2-丁二烯 2) 高彈性，比天然橡膠更耐腐蝕，對溫度適應性高：核工業防護手套 3) 一次性醫用手套、傳送帶、黏合劑

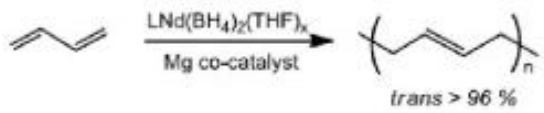
苯乙烯丙烯腈 SAN		苯乙烯 丙烯腈		1) 耐熱性較強，廣泛用於取代 PS 2) 透明， 3) 食物容器、塑膠光纖 optical fibre
丁苯橡膠 SBR		丁二烯 苯乙烯		1) 丁二稀(75%)、苯乙烯(25%) 2) 目前產量最大的合成橡膠 3) 輪胎、鞋、皮帶
ABS 橡膠		丙烯腈 丁二烯 苯乙烯		1) A: B: S = 2: 3: 5 2) 產量最大的人造橡膠 3) 可塑性極大 4) 電腦外殼、汽車護桿
聚二甲矽氧 PDMS		二羥基二 甲基矽烷		1) 聚矽氧樹酯：藉由特殊處理使部分鏈間產生矽醚鍵，則形成不可燃、有彈性的橡膠，可製絕緣層、密封劑 2) 矽利光 silicone：聚矽氧樹酯 Polysiloxane resin + 矽氧烷 siloxane 3) 動力沙（kinetic sand）：沙 + PDMS 4) 實驗室用高溫浴油、填縫劑、潤滑劑

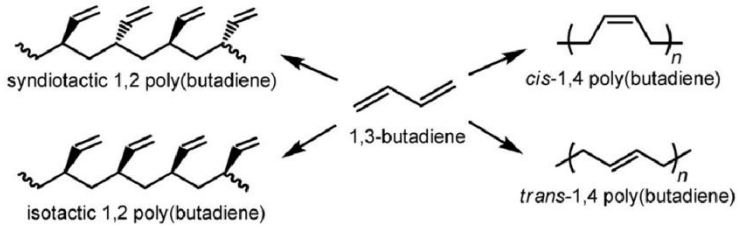




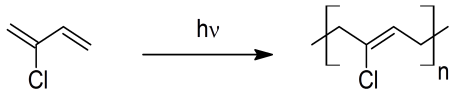
補充：丁鈉橡膠、新平橡膠的合成

- 丁鈉橡膠：
  1. 用 Na（已淘汰）或有機金屬催化劑：$Pd(OAc)_2$、$RuCl_2(PPh_3)_3$
  2. 用 Mg 和過渡／內過渡金屬：

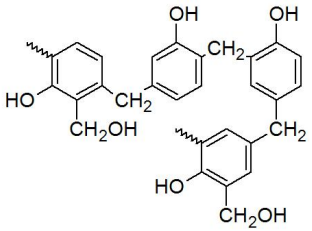
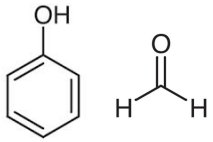
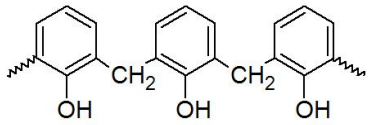
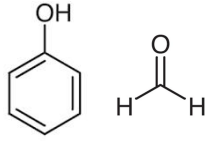


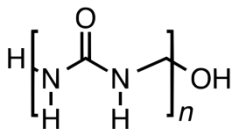
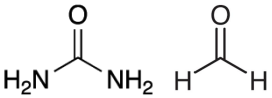
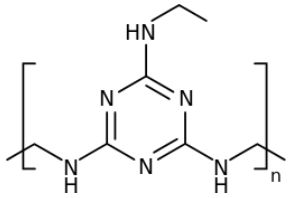
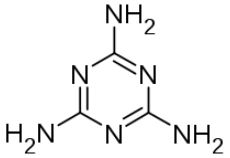
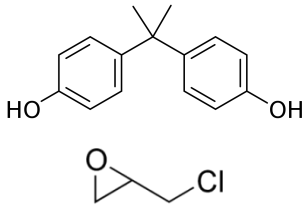


- 新平橡膠：
  乙炔二聚化形成乙烯乙炔 → 高溫加成 HCl → 加入 CuCl 催化進行重排反應 → 紫外線／過氧硫酸鉀（K_2SO_5）啟動自由基加成聚合

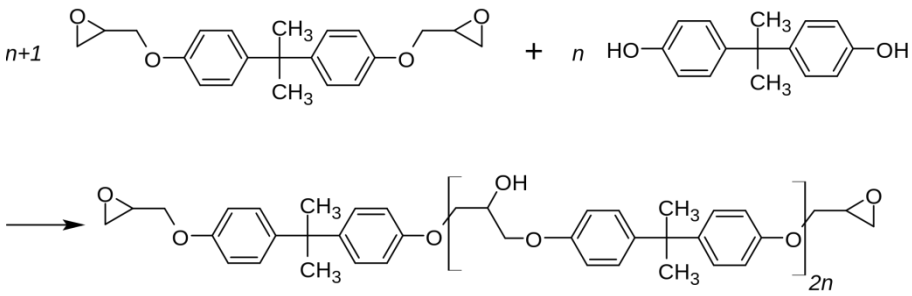


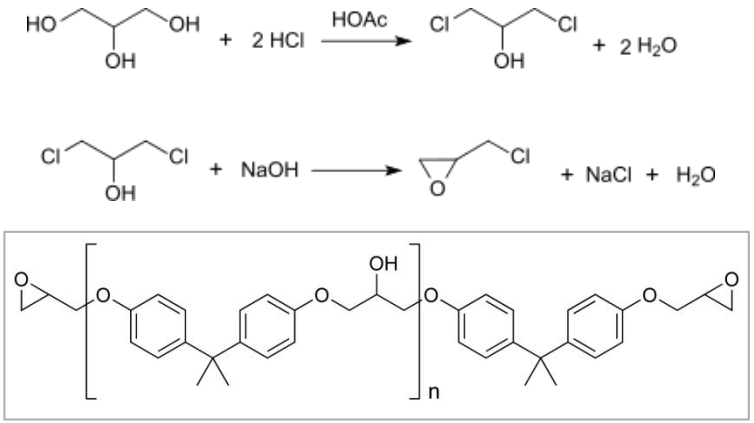
樹脂（網狀聚合物）Resins

聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
酚甲醛樹酯		甲醛、酚		1) 電木，一般在鹼性條件聚合 2) 可能放出有毒的甲醛 3) 發現可以被一種原毛平革菌屬細菌 *Phanerochaete chrysosporiu* 降解（*Gusse AC; Miller PD; Volk TJ* (July 2006).） 4) 複合材料、泡沫塑膠、保溫材料
Novolaks		甲醛、酚（過量）		1) 酚當量比甲醛當量多的酚甲醛樹酯特稱為 Novolaks 2) 由酸（ex.草酸）催化聚合 3) 聚合度 20~40，網狀程度低

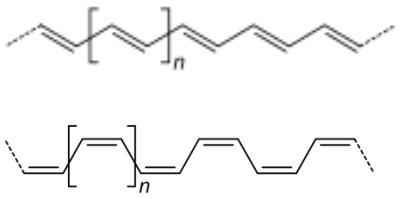
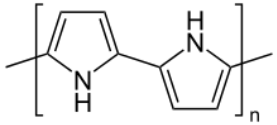
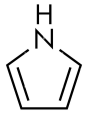
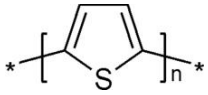
脲樹酯 UF		甲醛 尿素		1) 不透明熱固性塑膠 2) 農業上的一ˊ種「緩慢釋放氮來源」（slow-release nitrogen source），可以被微生物分解並放出 NH_3、CO_2 3) 防皺纖維、縲縈、木頭黏著劑
三聚氰胺樹酯		三聚氰胺		1) 抗腐蝕性、絕緣性佳 2) 美耐皿，加熱時可能溢出甲醛等具毒性物質
環氧樹酯	（下圖）	雙酚 A、環氧氯丙烷 ECH (epichlorohydrin)		1) Epoxy resin 2) 防水防鹽塗料：對金屬附著力強，與瀝青混合後作為船隻、橋梁、管線的塗料 3) 玻璃材料接合劑（用鹼當硬化劑）

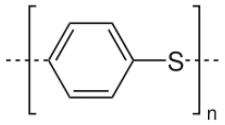
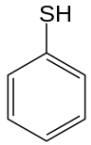
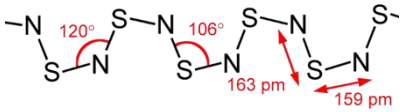
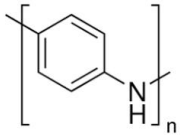
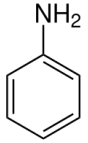
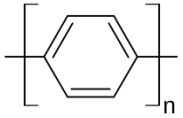
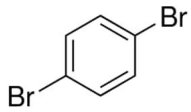
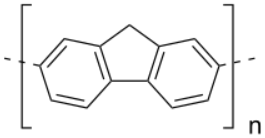
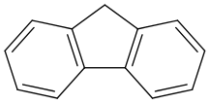
補充：環氧樹酯的製備、成長

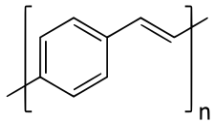
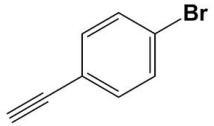
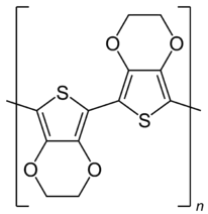
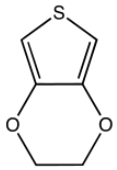




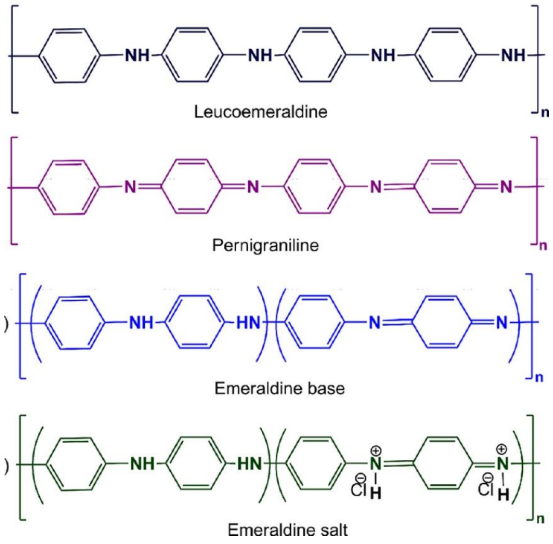
先進材料 Advanced materials

聚合物名稱	聚合物結構	單體名稱	單體結構	備註
聚乙炔 PA		乙炔		1) 2000 年諾貝爾化學獎：Shirakawa Hideki（白川英樹）、Alan Heeger 和 Alan MacDiarmid 2) 順反式光學性質不同（反式：銀色，不發光，有電導性—補充 (1)；順式：銅色，為發光材料，無電導性） 3) 溴／碘 p 型摻雜、L.A. n 型摻雜之後導電性如金屬，穩定性差 4) 太陽能電池、有機半導體材料和電活性聚合物、分子電子元件
聚吡咯 PPy		吡咯		1) 2000 年諾貝爾化學獎 2) 電化學合成、化學氧化聚合（$FeCl_3$） 3) 有潛力的藥物運送載子、多層奈米碳管 CNT's 的微波合成、人工肌肉（artificial muscles）作為電機驅動元件
聚噻吩 PT		噻吩		1) 2000 年諾貝爾化學獎 2) 特殊光學性質：溶劑、溫度、電位等影響下，主鏈發生扭轉，共軛結構被破壞導致顏色轉變 3) 產生雙極子 dipolaron 而導電 4) p 型摻雜劑：有機酸（ex. 三氯化金和三氟甲磺酸）、氯化鐵

聚苯硫 PPS		硫苯酚（巯基苯）		1) 高溫、高耐性熱塑性塑膠 2) 一種工程塑膠，白色到銅色，焦急時有響亮金屬聲 3) 經過摻雜或氧化可以成為有機半導體，是導電聚合物的前驅物
聚氮化硫 Polythiazyl		氮化硫 S_2N_2		1) 第一個被發現的導電無機聚合物。在 0.26 K 下變成超導體。 2) 金色、有金屬光澤的纖維狀晶體，各向異性，在空氣中穩定 3) S-N 之間形成兩中心 3π π 電子鍵 4) LED、電晶體、太陽能電池
聚苯胺 PANI		苯胺		1) 導電塑膠、有機半導體 2) 過硫酸銨（$(NH_4)_2S_2O_8$）氧化聚合 3) 在不同的氧化態下，呈現不同的顏色：leucoemeraldine 無色、emeraldine 綠色(salt)／藍色(base)、(per)nigraniline 藍色／紫色。其中 emeraldine base 最穩定 4) 印製電路板 PCB
聚對苯 PPP		對溴苯		1) 高強度（最強的熱塑性塑膠之一）、耐化學侵蝕、耐高溫和低溫 2) 常和其他有官能基的苯環進行共聚合
聚芴 PF		芴（茀）		1) 電致發光 2) 發射波長經修飾後可包含整個可見光譜 3) 可能用於 OLED、塑膠太陽能電池、有機電子元件

聚對苯乙炔 PPV		對溴苯乙炔		1) 剛性棒聚合物 rigid-rod polymer，高力學及溫度穩定性 2) 能隙小、黃色螢光；在側鏈引入官能基可以修飾其發光顏色及性質 3) 電致發光：聚合物型 OLED 4) 光伏電池（電子予體 ED material）
PEDOT		EDOT		1) 馬歇爾酸（$S_2O_8^{2-}$）氧化型聚合 2) 與其他聚合物形成的混合物（ex. PEDOT:PSS、PEDOT:TMA）可以作為太陽能電池、感測器、生物相容性界面

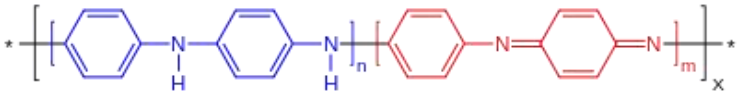
補充 (1)：聚苯胺 PANI

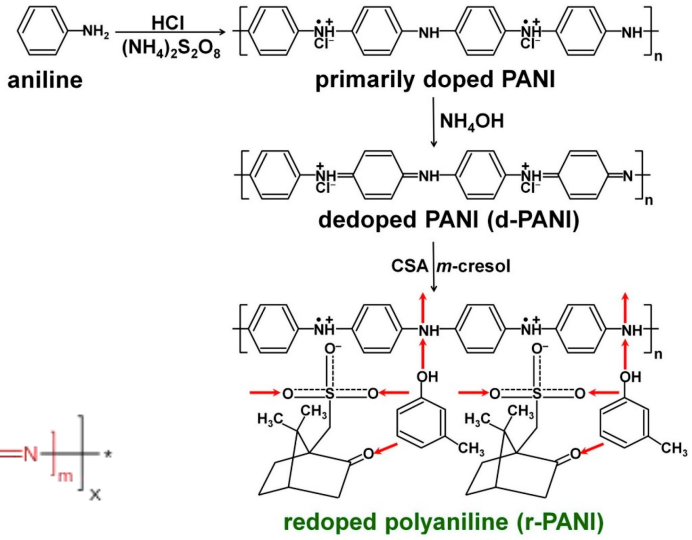


（左）隨著氧化程度變高，聚合物的顏色從無色偏向光譜的短波長端（ex. 紫色）。

（下）聚苯胺可以用三個數字 m, n, x 來表示其氧化程度：（m + n = 1, x 是半聚合度）

（右）聚苯胺經聚合後，先用鹼將其「去摻雜」，再用 CSA（camphorsulfonic acid，樟腦磺酸）進行「再摻雜」，形成「再摻雜聚苯



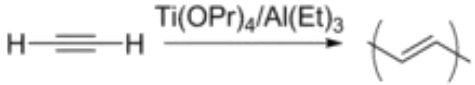


補充 (2)：光導性 photoconductivity

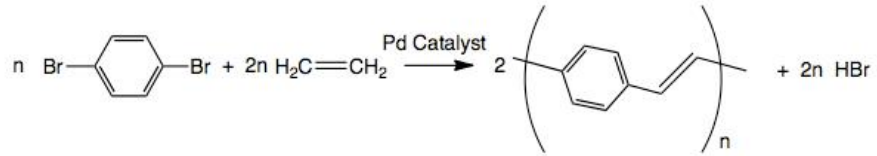
電磁波入射到物體表面導致其電導率變化的現象，是內光電效應的一種。原理是電子受到足夠能量時越過能隙 Band gap 被激發至傳導帶，半導體內的電子－電洞對增加，使導電度增加。常見的光導材料如導電聚合物廣泛應用於光敏電阻（光度感應器等設備）、複印機。

補充 (3)：合成途徑

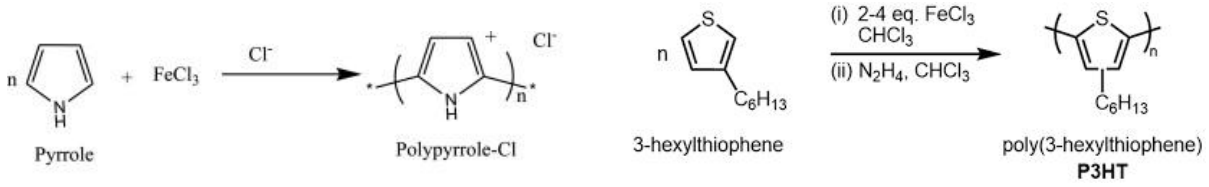
1. Ziegler-Natta 均相催化（聚乙炔 PA）：
   a) 聚乙炔 Polyacetylene：氣相乙炔進行聚合



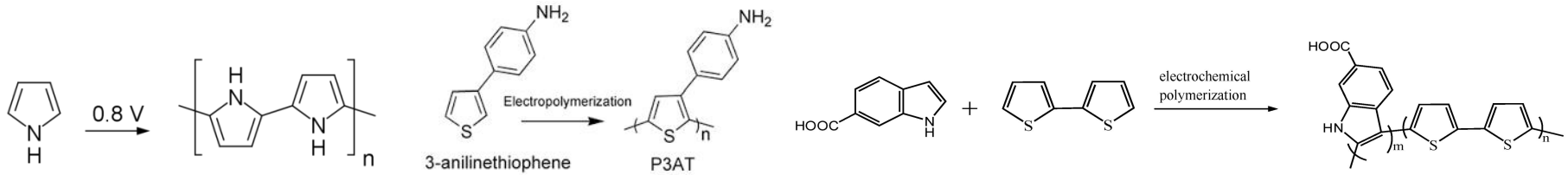
2. 偶合反應 Coupling：Heck coupling PPV 合成



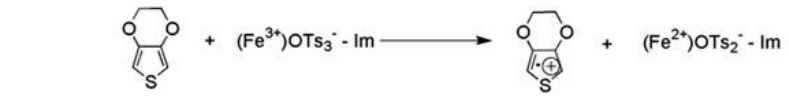
3. 氯化鐵（$FeCl_3$）催化合成（聚吡咯 PPy、聚噻吩 PT）：

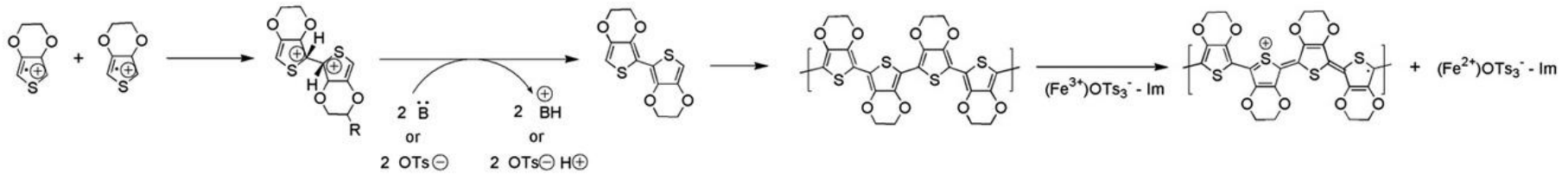


4. 電化學合成（聚吡咯 PPy、聚(3-苯胺噻吩) P3AT、聚[2-(5-乙酸吲哚)噻吩] ）：



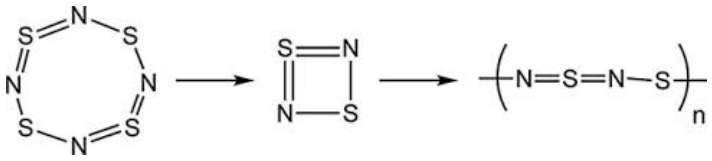
5. 氧化型聚合（PEDOT）：



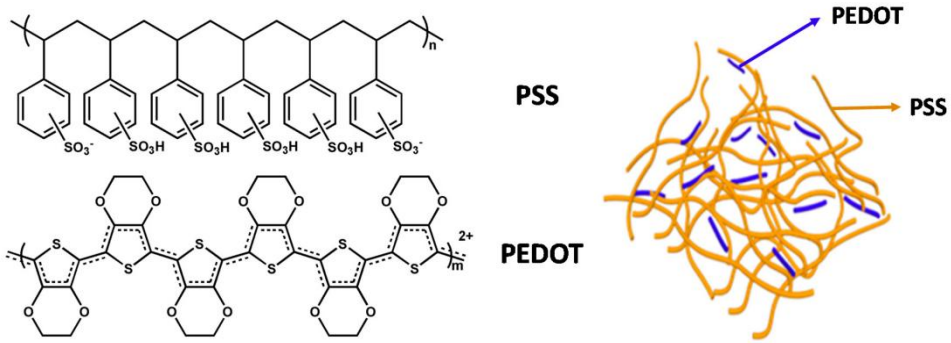


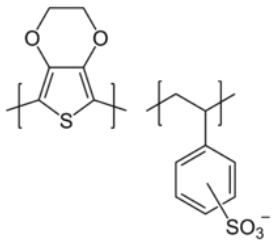
6. 特殊催化劑聚合（聚氮化硫 Polythiazyl）：

1) （熱的銀纖維）產生硫化銀催化劑：$S_4N_4 + 8Ag \longrightarrow 4Ag_2S + 2N_2$
2) 合成 S_2N_2（用 77K 冷阱 cold trap 使其凝結）：S_4N_4（Ag_2S cat.）$\longrightarrow 2S_2N_2$
3) 熱聚合：$S_2N_2 \longrightarrow (SN)_x$



補充 (4)：PEDOT:PSS 太陽能電池





PEDOT:PSS units