

應用新科技

工業新材料之應用

日本牧野昇編著 賴耿陽譯著



應用新科技

工業新材料之應用

日本牧野昇編著 賴耿陽譯著

復漢出版社印行

中華民國七十四年五月一日出版

工業新材料之應用

版權所有
翻印必究

平裝 二五元
精裝 一〇五元

原著者：牧野

譯著者：賴耿

出版者：復漢出版

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳

印刷者：國發印刷廠

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

近年來，機械愈有大形化、高速化、輕量化等的傾向，爲了滿足其要求，須依存於構成材料的進步，以強力材料爲例，單是強度大也不能滿足條件，還要求輕量、加工性、耐蝕性、切削性、耐久性等，而塑膠材料的出現更使構成材料多樣化了。

另一方面，由於勞力的缺乏，加速了機械的自動化、省力化，提高控制部份的比重，此分野的開發推進，須借助於IC（積體回路）等半導體裝置、記憶素子及其他基本電磁材料的研究，這些領域除了金屬之外，也向塑膠和陶瓷進軍，各種有機化合物、無機化合物也有新面貌，新材料的領域在日新月異開發中。

身處這種變化中的技術環境，吾每一位企業家科學技術人員須正確掌握現在的技術情報，技術進步的根本正是材料，特別是不可缺少的新材料的知識情報。

隨著科技國際化的進展，企業更須合理化，大部份企業的製品成本比率高低依序爲材料、工資、動力費，其中以材料費高居首位，材料費合理的抑減乃是工業界今後降低成本的關鍵所在，所以，企業家、技術者須重新評估材料知識的重要性！

本書中譯本若對企業的合理化，有幾分助益，實譯者無上榮幸。

譯者 賴耿陽謹識
成功大學工程科學系人

1978年5月

工業新材料實際知識/ 目次

第1章 概 說.....1

- 1-1 技術飛躍成長的1950年代 1
- 1-2 代謝性變化的新材料..... 2
- 1-3 異質材料的激烈競爭..... 2
- 1-4 機能材料的進步..... 3
- 1-5 永居王座的鐵鋼材料..... 5
- 1-6 今後期待的新金屬..... 5
- 1-7 引起材料革命的塑膠..... 6
- 1-8 司掌頭腦、神經的電子、電氣材料..... 6
- 1-9 磁氣時代的磁性材料..... 7
- 1-10 大有進展的複合材料和capsule..... 8

第2章 構造材料.....8

- 2-1 鐵鋼..... 9
 - 2.1.1 噪音防止鋼..... 9
 - 2.1.2 調整壓延鋼..... 10
 - 2.1.3 鈣快削鋼..... 11
 - 2.1.4 冷間鍛造用鋼... 12
 - 2.1.5 高溫用低合金鋼 13
 - 2.1.6 耐久消費材用新不銹鋼..... 15
 - 2.1.7 高張力鋼..... 19
 - 2.1.8 耐候性高張力鋼 24
 - 2.1.9 耐海水鋼..... 27
 - 2.1.10 低溫用鋼..... 28
 - 2.1.11 麻時效鋼..... 33
 - 2.1.12 超強力鋼..... 33
- 2-2 鋁..... 35
 - 2.2.1 成形用鋁合金... 35
 - 2.2.2 高力鋁合金..... 36
 - 2.2.3 耐熱鋁合金..... 38
 - 2.2.4 構造用鋁合金... 38
 - 2.2.5 光輝鋁合金..... 40
 - 2.2.6 發色鋁合金..... 42

2.2.7 接合用鋁合金…	42	2.2.9 汽車鋁合金……	45
2.2.8 快削鋁合金……	44		
2-3 銅……………	46		
2.3.1 無氧銅…………	46	金……………	48
2.3.2 耐熱銅合金……	47	2.3.4 貴金屬複合材料	48
2.3.3 耐應力腐蝕用合		2.3.5 耐蝕銅合金……	49
2-4 新金屬……………	50		
2.4.1 何謂新金屬……	50	2.4.5 稀土金屬・鈮…	60
2.4.2 鈹……………	56	2.4.6 鈮、鈮…………	63
2.4.3 鈮……………	58	2.4.7 鈦……………	66
2.4.4 鋰……………	59	2.4.8 鋳、鉛…………	67
2-5 塑膠……………	69		
2.5.1 聚丙烯…………	69	2.5.10 砂利康…………	77
2.5.2 ABS ………	70	2.5.11 耐熱性塑膠……	78
2.5.3 耐隆……………	71	2.5.12 感光性塑膠……	79
2.5.4 聚碳酸酯…………	72	2.5.13 發泡塑膠…………	80
2.5.5 聚縮醛……………	73	2.5.14 無機質充填塑膠	82
2.5.6 PBT ………	73	2.5.15 FRP ………	82
2.5.7 環氧樹脂…………	74	2.5.16 FRTP ………	83
2.5.8 Ionomer ……	75	2.5.17 合成纖維……	84
2.5.9 Teflon ………	76	2.5.18 合成橡膠……	86
2-6 陶器……………	87		
2.6.1 先透過調節用各 種板玻璃…………	87	2.6.7 感光性玻璃陶器	95
2.6.2 調光玻璃(眼鏡)	88	2.6.8 多結晶透明體— 氧化鋁質放電管	97
2.6.3 化學強化玻璃…	90	2.6.9 光學纖維…………	98
2.6.4 導電性玻璃……	90	2.6.10 陶質纖維…………	99
2.6.5 耐熱玻璃、超耐 熱玻璃……………	91	2.6.11 耐鹼性玻璃纖維	99
2.6.6 失透陶器(結晶 化玻璃陶器)…	94	2.6.12 輕量骨材…………	101
		2.6.13 輕量不燃建材…	102
		2.6.14 汽車機材用陶器	105

2.6.15	海洋開發用玻璃材料	106
第3章 電磁材料		110
3-1	接點材料	110
3.1.1	銀及銀合金	110
3.1.2	白金及白金合金	110
3.1.3	鈮及鈮合金	111
3.1.4	銀—氧化物接點	112
3.1.5	帕里虐合金	112
3.1.6	虐沃羅合金	113
3.1.7	鍍金接點	113
3-2	彈簧材料	115
3.2.1	磷青銅	115
3.2.2	白銅	116
3.2.3	鍍—銅	116
3.2.4	鈦—銅	120
3.2.5	Cupro	121
3.2.6	琴絲綫	121
3.2.7	不銹鋼彈簧	121
3.2.8	Elgilloy	123
3.2.9	Ni-Span C	124
3.2.10	CA 725 合金	124
3.2.11	英高鎳 (Inconel)	125
3.2.12	鎳·鍍合金	126
3-3	磁性材料	127
3.3.1	高性能 ALNICO 磁鐵	127
3.3.2	亞鐵酸鹽磁鐵	129
3.3.3	橡膠磁鐵、塑膠磁鐵	130
3.3.4	半硬質磁鐵	130
3.3.5	Fe-Cr-Co 系合金磁鐵	133
3.3.6	稀土類鈷磁鐵	133
3.3.7	耐摩耗性 Permalloy	134
3.3.8	仙 dust	134
3.3.9	高密度亞鐵酸鹽	136
3.3.10	磁氣記錄材料	137
3.3.11	磁氣遮蔽材料	137
3.3.12	磁性流體	138
3-4	導電材料	138
3.4.1	鈉電綫	138
3.4.2	鋁電綫	139
3.4.3	繞圈綫	139
3.4.4	超電導合金綫	140
3.4.5	導電塗料	142
3.4.6	印刷配綫	143
3.4.7	軟焊材與硬焊材	146
3.4.8	Almit	146
3-5	電阻材料	149

3.5.1 電阻材料的分類 與用途.....149	3.5.7 測溫電阻體.....156
3.5.2 錳鎳銅.....149	3.5.8 熱阻體.....157
3.5.3 康史登銅.....152	3.5.9 克銘美爾—亞鋁 美爾.....157
3.5.4 Karma.....153	3.5.10 雙金屬.....159
3.5.5 電熱材料.....154	3.5.11 感濕素子.....159
3.5.6 應變計.....155	3.5.12 皮膜電阻.....160
3-6 半導體.....161	
3.6.1 銻.....161	3.6.11 熱電素子(thermo- element).....173
3.6.2 矽.....162	3.6.12 硫化銻.....174
3.6.3 鎵砷.....165	3.6.13 氧化鈦.....175
3.6.4 鎵磷.....166	3.6.14 氧化鉛.....175
3.6.5 鋁砷.....167	3.6.15 氧化鋅.....176
3.6.6 銻銻.....168	3.6.16 氧化鎂.....177
3.6.7 銻砷.....169	3.6.17 硒.....177
3.6.8 硫化鎢.....170	3.6.18 玻璃半導體.....178
3.6.9 硫化鉛.....171	3.6.19 有機半導體.....179
3.6.10 硫化鋅.....171	
3-7 電介質.....180	
3.7.1 有機電容器材料180	3.7.3 利用壓電特性的 材料.....189
3.7.2 無機電容器材料184	

第4章 特殊材料.....191

4-1 特殊合成材料.....191	
4.1.1 合成建材.....191	4.1.4 工程塑膠.....194
4.1.2 合成皮革.....192	4.1.5 含水塑膠.....194
4.1.3 合成臟器.....192	4.1.6 放射線強化塑膠195
4-2 複合材料素材.....195	
4.2.1 Whisker.....195	4.2.3 金屬強化材料...197
4.2.2 碳纖維.....196	
4-3 超領域材料.....199	

4.3.1	在超領域所得的	4.3.3	氮化硼.....200
	材料.....199	4.3.4	工業鈦.....200
4.3.2	人工鑽石.....199		
4-4	新用途的材料、物質.....202		
4.4.1	光學纖維.....202	4.4.3	液晶.....203
4.4.2	非晶質金屬.....202	4.4.4	Plasma203

I. 概 說

1.1 技術飛躍成長的1950年代

1950年代科技在產業革新、成長度方面都令人驚奇，「半導體」的發現改變電子的設計，出現新型電子機器，以往居壓倒性優勢的重電機器（發電機、電動機、變壓器等）被電子機器奪去光彩，到處都是電視、收音機等電子品，並大大提高電子計算機、自動化機器的性能，可說此小材料的出現，開創了新產業。

化學工業也幾在同一時期革新，耐隆（尼龍）、聚乙烯（PE）、聚酯等塑膠陸續問世，使以肥料為中心的化學工業市場遭受強烈衝擊，纖維產業的形態也改變；以前不肖一顧的有機化學手執「合成」武器，縱橫活躍，塑膠產業、合成纖維產業成長為化學工業的核心。

新材料的出現使機械工業或化學工業激烈變化，使經營者手足無措，其衝擊也波及能源產業；「核燃料」成功的抽出使人們陷入原子彈的恐怖，但也是取代即將枯竭的石化能源的一張王牌，原子能產業成為未來主要資源。

從噴射機到人造衛星的飛翔體分野中，引擎要求耐熱材料，為機體開發高張力輕合金、或鈦，大大有助於材料的開發。

1950年代的技術革新有史上所無的進展，而其起源都是「材料革命」的技術突破，生產新製品、開拓新市場者正是「新材料」的發明、發見，經營的成敗在於對新材料如何巧妙利用之。

材料革命為技術革新之母，這在今後仍是不變的事實，所以企業的各階層人士都須認識新材料的實務知識。

1.2 代謝性變化的新材料

若說 1950 年代的技術革新有脫胎換骨、飛躍的傾向，則 1960 年代到 1970 年代初的技術革新具有代謝、漸進的傾向，稍失其神速性，「技術革新的蜜月已結束」，但半導體或耐隆之類新規格材料的出現仍不在少數。

1969 年秋日本組織「產業預測特別調查團」，訪問美國的先端企業，新銳研究所，休斯飛機公司的頂峯經營者海蘭德先生說：

「技術的斷絕（discontinuity）已在十數年前結束，電晶體、塑膠、數位計算機、原子能等劃時代的技術進步已無後繼者，今後我們所能期待的可能只有雷射（LASER）」。

這段話啓示技術的進步已改變內容，一件發明、發見造成產業構造變革的時代已告一段落，今後是現有材料的改良與它們的系統化而開拓新製品的時代。

今後的技術開發要對應於社會的需要，改良已知的技術知識，重新組織，不宜強求醒目的單獨劃時代技術進步，材料本身也難望有取代塑膠或半導體的衝擊性材料革命，倒是利用複合或重合等改良塑膠或展開 IC（集積回路）之類的機能材料，開創市場，才是勝敗關鍵；故有必要再研討目前材料的資料。

1.3 異質材料的激烈競爭

最近材料的技術動向已非期待新材料誕生，而是往市場的擴散，材料在各種產業分野激烈競爭。

材料轉換最激烈是天然材料原先居優的纖維、木材分野，由於發明耐隆、聚酯、壓克力等合成纖維，在漁網、輪胎等產業資料、襪子、襯衫等衣料分野都已取代天然纖維；塑膠的出現使原用木材、紙的包裝、建築內裝、家具等造成一陣旋風，在包裝分野更造成史無前例的包裝革命。

天然材料的弱點在沒有工業上的大量生產性，不能大量生產均勻同形狀的材料，最近連建築用的骨材都已在工廠生產。

日本在材料重新評估方面，十數年前從美國導入的「價值分析」頗

有影響，目前爲了積極減低機器成本，不只是轉換材料，也要評價解析機械或構造物的零件或材料，在不減低機能的原則下，期求成本的合理化。

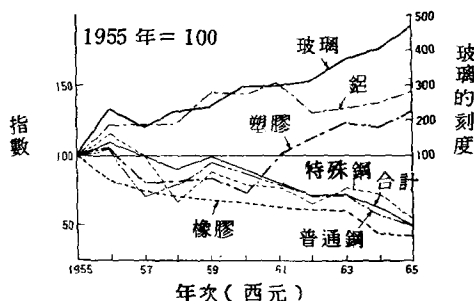


圖 1-1 造船業以外的輸送機器（主要爲汽車）的材料使用單位推移。

輸送用機器的材料使用比率從 1950 年代到 60 年代如圖 1-1 所示，合計的材料使用原單位逐年減少，10 年間約減到 60%，其中銅、橡膠、普通鋼、特殊鋼的降低更顯著，反之，玻璃、鋁、塑膠之類的新材料相對增高，銅或鐵鋼用量減低的原因是由電子固體素子、成卷鋼板、熱可塑性塑膠等的出現及熔接、冷鍛機等加工法的進步；鋁或塑膠用量的增大是企圖輕量化，最近連機器本體也用玻璃纖維強化塑膠。

1.4 機能材料的進步

現在材料進步的焦點在何種分野？其基本方向在機能材料。

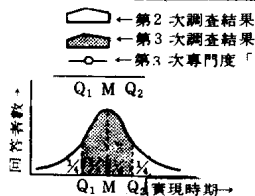
圖 1-2 爲筆者主持日本科學技術廳有關材料技術預測的部份資料，此形圖頂上的中位數爲預測值，表示問題事象在該年次以前的預想與其後的預測相等。

圖中爲最看好的 10 項，內中幾無構造用材料，只有占第 7 位的「超高張力鋼」屬之。

全體的特色是電磁特性的關連課題很多，其次是反映臟器移植或廢物處理等問題，「可用爲人工臟器的高分子膜」或「經過一定期間後崩壞的材料」等爲重要課題。

順位	課題名稱	重要性程度	實現時期						評言例
			1975	1980	1985	1990	1995	2000	
1	可半永久性使用的燃料電池用電極實用化	89							* 即使壽命增長, 但要相當時期才能半永久性
2	開發可在100°K使用的超電導材料	82							金屬以外, 也要考慮有機物
3	有生體機能的高分子膜實用為人工臟器材	78							要充分保證薄膜性能的安定和對生體的影響等
4	開發變換效率20%以上的太陽電池用材料	77							可改良現有II-VI-IV-V化合物的特性
5	開發以微波振動逾1 kw以上輸出的半導體量子	68							要導入新機構也要解決量子內部的發熱
6	開發性能同傳統品而容積1/100以下的超小形電感的高透磁率材料	65							考慮利用單結晶
7	抗拉強度500 kg/mm ² 的高透磁率超高張力鋼實用化	65							要究明破壞機構, 已開發400kg/mm ² 者
8	開發可在氧化氮氣使用的發熱體(約3000°C)	65							可用ZrO ₂ 實現, 現已開發2000~2500°C者
9	開發性能同傳統品而容積1/100以下的超小形電容的高誘電率材料	61							以薄膜化, 多層化達成, 耐壓有問題
10	開發經過一定期間後急速崩壞的材料	57							在廢物處理上很設計

〔註〕
圖中將回達人數的分佈表成
下四分位數(Q₁)
中位數(M)
上四分位數(Q₃)
看法如右示



(會從事關連該
課題之研究或業
務的人)

下四分位數(Q₁)
中位數(M)
上四分位數(Q₃)

圖 1-2 日本科學技術廳的材料技術預測結果
(到 2000 年)。

可見材料的技術進步是從構造材料轉變為具有熱、電、磁性、人體適應性等特殊機能的材料。

1.5 永居王座的鐵鋼材料

鐵鋼在材料產業中的地位甚大，特別是在日本維持極高的成長率，1975年生產1億5000萬噸，今後可能超過美國，不論製鐵廠的生產效率、製品的品質，日本鐵鋼在世界上的排名一直超前。

在現在的工業用材料中，兼顧成本與強度的材料只鐵鋼而已，生產量在工業材料中，以重量而言，超過水泥而居第1位，金額也如鶴立雞群。

設鐵鋼單位重量的成本為1，則鋁約6，塑膠約4，設鐵鋼的強度為1，則鋁約 $\frac{1}{3}$ ，塑膠低1位數，鐵鋼可因熱處理而更強化。

但鐵鋼很少出現新材料，一直維持原態，碳鋼固不待言，特殊鋼中的不銹鋼、構造用合金鋼在此十多年間，材質未見變化，只在麻時效鋼、矽鋼、硼鋼、耐候性鋼、耐熱鋼有新進展，但其工業材料的王座地位在本世紀不會動搖。

日本的鐵鋼業也不是高枕無憂，面臨兩大問題，一是「資源」問題，特別是粘結炭顯然不足，到達1億5000萬噸已發出紅燈，資源的海上運輸也是瓶頸所在，鐵礦、煤炭也大都依賴海外供給；第二是「需要」的問題，鐵鋼的需要是否會以目前的態勢發展下去；在美國，比起鋁或塑膠，鐵鋼需要量已呈停滯，日本產業數年後也可能如此，無論如何，在1970年代末頃可見分曉。

1.6 今後期待的新金屬

金屬材料的新材料使命由「新金屬」承擔，在鐵鋼、銅、鋁之後，排名第四的鈦很受重視，它在地殼中的埋存量豐富，兼具輕、強、耐蝕三大特色，生產量逐年增加，為人造衛星、超音速飛機的貴重構造材料，若原子能發電普及而減低電力成本的話，鈦的精煉費可望大降，在構造材料中的地位勢必飛昇。

但是，新金屬的價值應是機能材料高於構造材料；機械的構成可分為構造體與機能體，司掌演算或控制的機能體比維持機械形狀的構造體

重要，這方面就要依賴新金屬，特殊電氣材料、化合物半導體、磁性材料有Zr、Ta、Nb、Ga、As、In、Sm等。

1.7 引起材料革命的塑膠

1909年L.H.Baekeland發明酚樹脂後問世的塑膠在日本也急速成長，出現塑膠時代，此有機化合成高分子——塑膠有很多種類，性質也多彩多姿。

除了強度匹敵金屬的塑膠、藥品耐蝕性優良的塑膠等構成材料之外，最近也有滿足發泡性、感光性、導電性等特別要求的塑膠，若包含合成纖維或合成橡膠等，則可說沒有塑膠所不能進軍的材料分野。

比較金屬時，塑膠的長處是輕、富耐蝕性、加工成形性良好、色彩、透明性良好、有防音、防振性、絕緣性優良，缺點是機械性強度、硬度差，耐熱性差，容易老化、劣化。

為消除這些缺點而研究複合材料，例如在玻璃纖維或特殊纖維（例如whisker）等強化材中用各種塑膠為matrix，擴大用途；進步的成形法已可製造各種形狀的塑膠製品，其多彩的色彩或多樣的性質更促進前途無量。

但是塑膠的前途也有陰影存在，此即公害問題，廠地與廢物兩方面都受攻擊，第1煩惱是地方社會排斥石油化學廠，例如PE的生產量（日本）約年產600萬噸，但因廠地條件受限，無法再建新廠；第2為塑膠廢物的處理問題，塑膠良好的耐蝕性的反面是丟棄後也永不腐蝕，令人擔心滿山遍野都是塑膠；金屬在丟棄後可自然生銹而回到地中。

但這些缺點也無法阻止塑膠的伸展，未來的材料將是金屬與塑膠共存的關係。

1.8 司掌頭腦、神經的電子、電氣材料

最近的機械中，控制裝置部份的比重增高，以往工作母機的價格大致取決於重量，不過，最近NC工作母機等的成本比率已轉到以計算機為中心的控制部份；飛機價格的比重也從機體轉到操縱室周邊的電子機器，這表示機械的機能已脫離取代人類肉體動作的時代，加強取代人類頭腦活動的功能。

人造頭腦所用的材料以半導體和磁性材料為核心，另加電阻材料、接點材料、誘電體材料（電介質）、導電材料等，這些機能材料的伸展

一定會超過鐵鋼或塑膠；計算機周邊裝置或數據通信等關連機器所用的材料將更顯赫，這些材料在技術革新分野中甚優於構造材料的停滯，附加價值也很高。

1948年貝爾研究所發明電晶體以來，約20年間為鍺、矽等元素半導體的世界，此兩者確為典型的半導體，滿足半導體的工業要求，合金技術或表面處理技術的進步解決周波數、輸出、可靠性等難題，從電晶體進展為IC、LSI、超LSI。

電氣機械材料消費原單位的顯著降低也是托福於半導體進步所致的小巧化。

1960年代陸續發見半導體的新現象，以特殊元素為基礎的「化合物半導體」很受注目，微波用、LASER用、二極體用的GaAs、感光材料的ZnS、CdS、磁場檢出用材料的InSb、電子冷凍素子用的Bi₂Te₃、PbTe等日漸出名，有機半導體、玻璃半導體有助於開拓新用途。

材料研究的正途是探討「現在需要什麼」，可用的材料很多，須改善各項技術，解決問題，從其中選出最適合需要者。

最近顯著進步的電子、電氣材料除了半導體之外，還有誘電體（電介質），其台柱為塑膠和陶瓷的進步，PE膜、氧化鋁、鈦酸鋇等優良的誘電體材料有助於電容器的小型化和提高可靠性，並改變回路設計；利用壓電特性的陶瓷也有助於開拓新用途。

導電材料、電阻材料、接點材料的進步較緩慢，電阻材料的雙金屬或感濕素子、導電材料的超電導合金或印刷線路等新技術較顯著，接點材料未見利用新金屬，倒是傾向採用複合材料形式，也致力於研究組合彈簧材料。

1.9 磁氣時代的磁性材料

未來為「磁氣時代」，日本的電子計算機已居世界第2位，1970年代後半，所有情報將用磁帶保管，稅款、存款、公司經理固不待言，連會議記錄、會話也都成「磁氣記錄」，若抵消磁氣，或一顆施加其他磁化的磁氣炸彈都會使都市機能停止，引起經濟恐慌或暴動。

磁氣記錄用的材料大都為氧化鐵或Ferrite（亞鐵酸塩），1932

年日本發明的氧化金屬系磁氣材料至今仍是掌握世界情報的偉大傑作，亞鐵酸鹽中的 $\text{ZnO} \cdot \text{MnO}$ 用為磁心材料時在高周波領域也有優良的性能，鉕亞鐵酸鹽 ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) 在永久磁鐵方面也開始取代金屬系磁鐵。

現在永久磁鐵的王座為三島鋼 (MK 鋼) 的 ALNICO 磁鐵 (主成分的第 1 字母命名)，但計器用、電子用等高性能分野已不依賴亞鐵酸鹽磁鐵。

磁性材料最近進步為「異方性材料」與「複合材料」，前者有異方性矽鋼板、異方性帕斯洛伊、異方性 ALNICO、異方性 Ferrite 等，異方性得自鑄造、壓造、加工、熱處理或它們的組合，整頓容易結晶的磁化軸，使該方向的磁性成為極大；後者的「複合材料」如橡膠磁鐵之類，將脆性亞鐵酸鹽埋入橡膠，磁性材料與其他材料複合而彌補缺陷。

近一二年內被重視的是釷 (Sm, samarium) 等稀土類元素，用為 Sm-Co 合金或 ortho-ferrite 的成分，提供有特色的性質，電磁材料中技術進展顯著的為半導體和磁性材料。

1.10 大有進展的複合材料和 capsule

美國金屬學會的未來委員會預測「西元 2000 年時複合材料比單獨材料更占優勢」，今後的構造用材料罕有性能突破的材料出現的機會，將以現有材料的改善為中心，複合數種材料，以適合需要。

要求高溫強度大而透磁率優良的材料時，可在 permalloy 等作成鎢或陶瓷的骨架；要求抗拉強度接近金屬的塑膠時，可將玻璃纖維埋入塑膠，要求彈簧特性良好的接點材料時，可將彈簧材料與接點材料包覆 (clad)；以鋼線補強容易折損的混凝土成 PC 混凝土、耐蝕性優良的鈦板與高強度的廉價鋼板作成護面 (clad) 材，兼具玻璃封着性和導電性的銅-鈷合金複合線等新材料陸續開發，「複合化」無疑為今後材料開發的重大傾向。

複合化的更進一步為 module 化，例如組合鍍、添加金屬、密封板、導線，作成電晶體——有一機能的個體，與其稱之為零件，不如稱為 module，進一步裝入一黑盒 (black box)，成為 package，具有 capsule 的機能。