

# 電池管理系統技術與發展

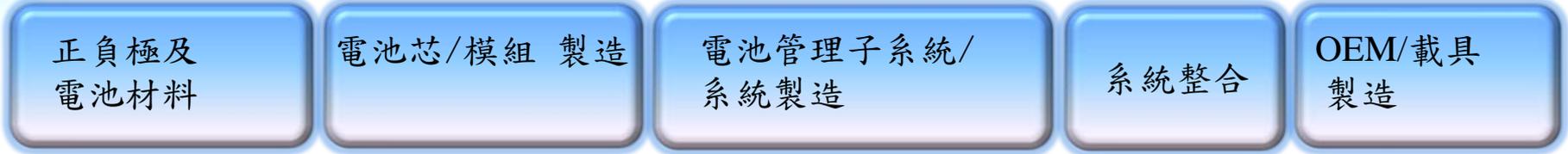
金屬工業研究發展中心  
能源設備與精敏系統處  
副工程師

阮俊穎

# Agenda

1. 電池產業現況
2. 二次電池簡介
3. 電池管理
4. 結語

# 台灣電動車產業價值鏈



國內

<p><b>正極材料</b> 康普、 鋰科、 長園、 鐵研、 立凱、 尚志、 宏瀨</p>	<p><b>負極材料</b> 中碳、台松 <b>隔離模</b> 高銀化學 <b>電解液</b> 台塑</p>	<p><b>電池模組</b> 新普、能元、達振、統量、 台達電、喬信、新盛力、 詮陽、統振、天宇、群力</p>	<p><b>電池管理晶片</b> 無</p>
		<p><b>電池芯</b> 能元、必翔、有量、昇陽、 動能、瑞能、蘭陽、冠碩、 金山</p>	<p><b>電池系統</b> 必翔、有量、能元、新普、 達振、瑞德、銓陽、宇泉、 喬信、加百裕、順達</p>
			<p><b>電池管理系統</b> 敦陽、台達電、致茂、一品、 創揚、強德、能元、瑞薩</p>

<p><b>馬達材料</b> 中綱、大亞、台達電、 台全</p>	<p><b>電流轉換模組</b> 東元、致茂、台達電</p>	<p><b>高功率電子系統</b> 台達電、致茂、澧村</p>
	<p><b>動力馬達</b> 東元、富田、台優、 中廣、愛德利、士電、 大同、金富田</p>	<p><b>車用MCU晶片</b> 無</p>

**整合開發技術**  
華創車電、車測中心、工研院、台灣車輛研發聯盟

**電動汽車**  
華創車電

**電動機車**  
三陽工業、光陽工業、益通、摩特動力、易維特、美博士、聯民技研

**電動自行車**  
巨大、美利達、中華、台灣動能系統

■ 我國目前在電動車關鍵元件的 **BMS 與 MCU** 中，皆缺乏晶片業者之投入

國外

**BMS  
MCU**

**電池管理晶片與車用MCU晶片**  
Linear Technology、Analog Devices、Texas Instruments plus multiplexer、O2Micro、Maxim、Infineon

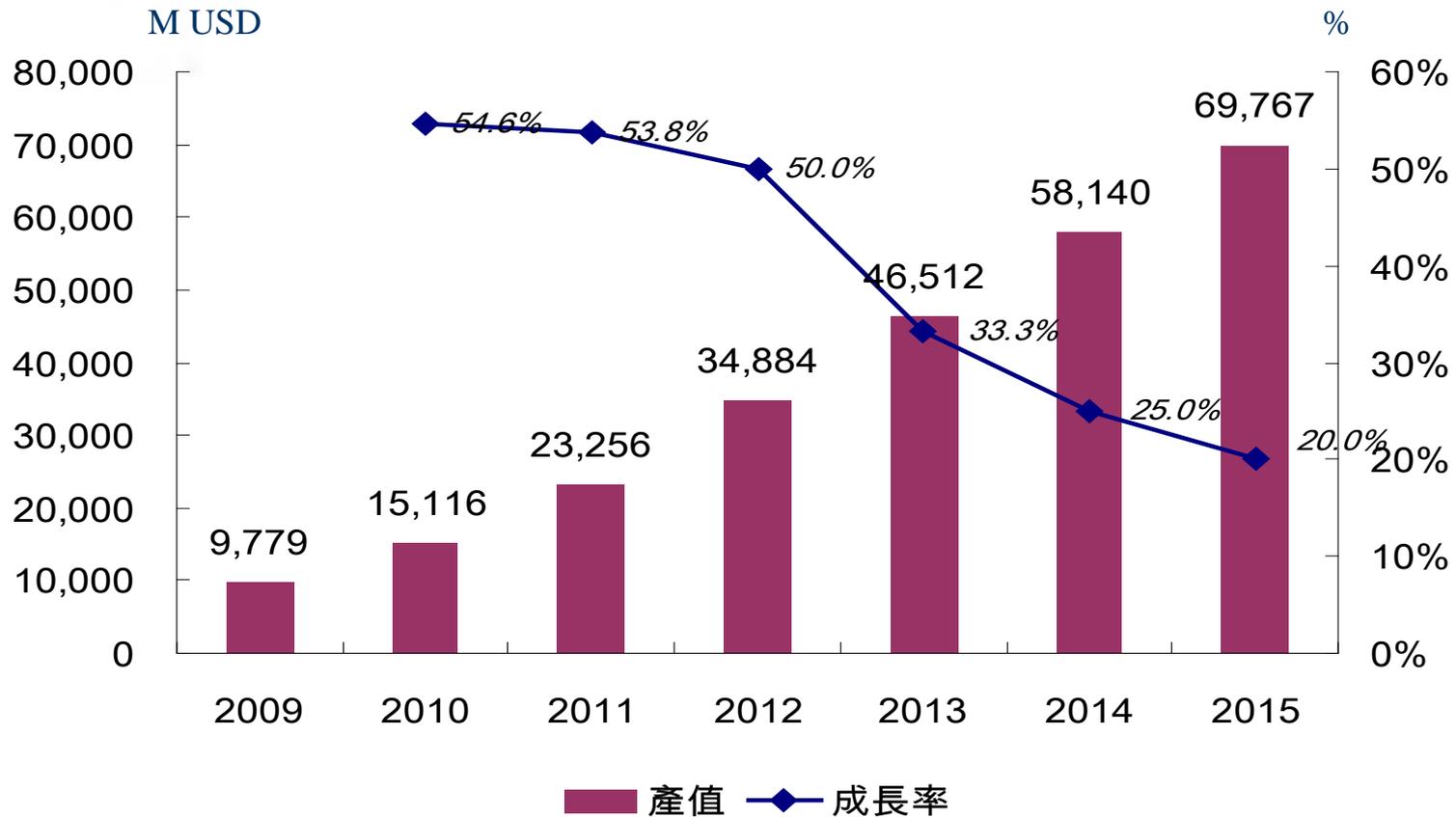
**電池  
模組**

**電池芯與電池模組**  
Sanyo、Panasonic、NEC、Toshiba、SONY、GS Yuasa、SDI、LGC、Samsung、BYD、比克、力神、A123、Johnson Control

**電動  
載具**

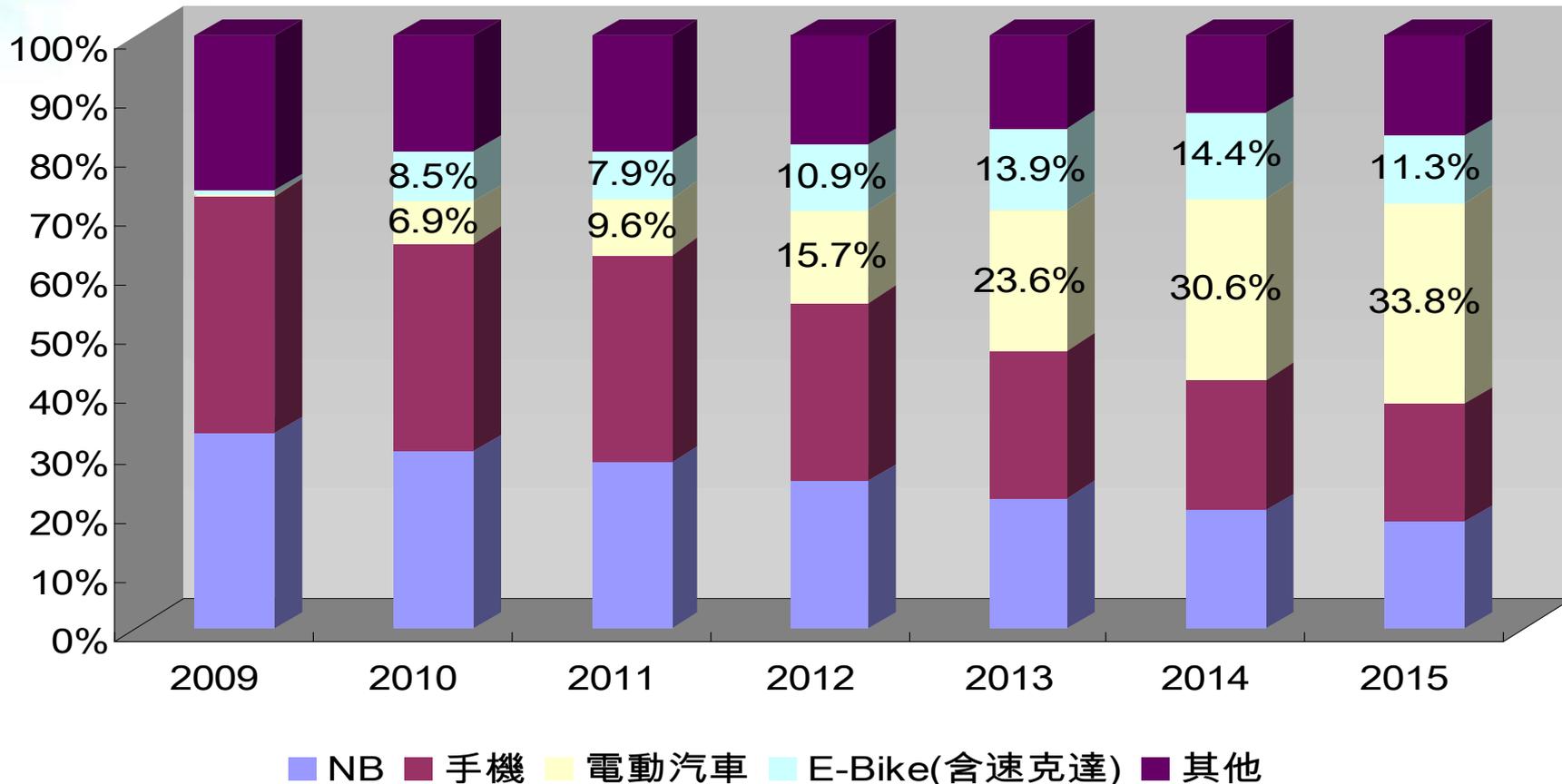
**車廠與電池廠聯盟**  
Toyota、Nissan、Mitsubishi、VW、Isuzu、Hyundai、GM、Daimler、BMW、Mercedes-Benz、Chrysler、Subaru、Tesla、Ford、BYD、上汽、奇瑞、一汽、東風、長安等車廠

# 全球鋰電池產業產值預估



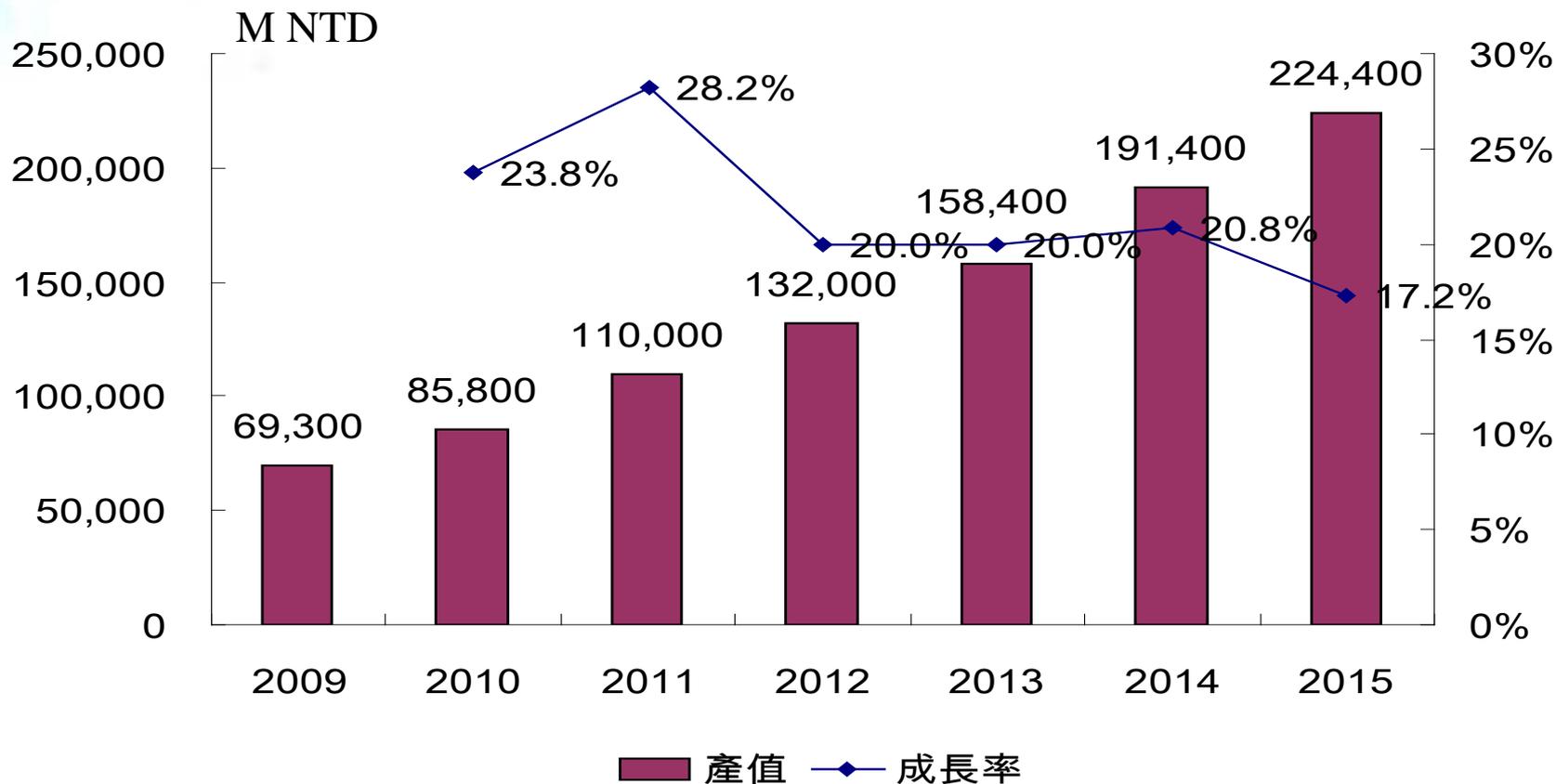
- 拓璞產業研究所預估，2010年全球鋰電池產業產值達15,116百萬美元之規模。
- 在新型正極材料的技術不斷突破、取代既有鉛酸電池、電動車輛廣泛使用的發展趨勢之下，預估在未來5年內仍將維持每年20%以上的成長力道。拓璞產研所預估2015年全球鋰電池產業產值將達69,767百萬美元之規模

# 全球鋰電池產品用途分析



- 包含電動汽車(EV)、混合動力車(HEV)、E-BIKE(包含速克達)等車用鋰電池市場 2009年僅佔整體鋰電池市場的1%。預估在2010年包含電動汽車及E-Bike市場將有突破性的成長，合計約佔總體鋰電池市場之15.4%。
- 隨著電動車的普及，車用鋰電池市場預估在2015年將可佔整體市場之45.1%。

# 台灣鋰電池產業產值預估



- 台灣鋰電池產值在2009年達到69,300百萬元新台幣，2010年成長至85,800百萬元新台幣，年成長率達23.8%。預估在全球鋰電池市場蓬勃發展帶動之下，預估在2014年以前都能維持每年20%以上的成長力道。
- 2010年台灣鋰電池產值約佔全球17.2%之比重，但是在全球廠商踴躍投入的競爭之下，短期內台灣鋰電池產業產值之比重將呈現緩步下滑，長期而言台灣產值將佔全球10~15%之比重

1. 電池產業現況
2. 二次電池簡介
3. 電池管理，BMS系統
4. 結語

# 常用技術術語\*

- 電容量
  - 放電率為0.2C，25度室溫的條件下所測得的總放電量
- C表示式
  - 以電池芯標示電容量為基礎之電流大小表示式
  - Ex.:1000mAh 容量之電池芯，1C即為1000mA之電流，2C為2000mA...etc.
- 能量密度(Energy density)
  - 電池的平均單位體積或質量所釋放出的電能
- 週期壽命(Cycle Life)
  - 電池的容量下降到額定容量80%所經過的充放電次數
- 自放電(Self discharge)
  - 電池由於內部化學反應的關係，內部會自放電。雖未外接負載但是電池所儲存的電量會隨著時間而逐漸消失

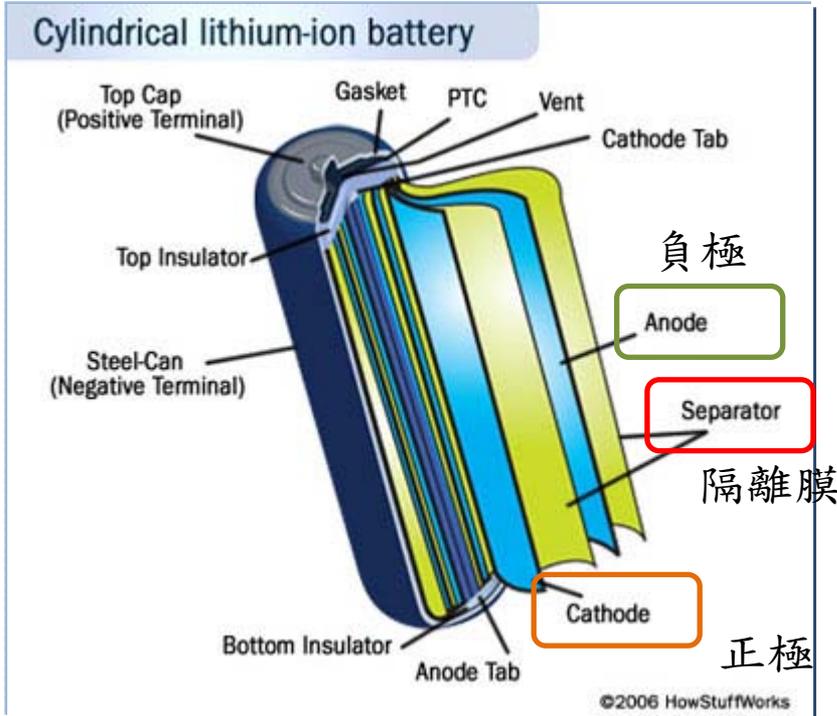
# 常用技術術語\*\*

- 電池直流內阻
  - 電池可視為一個理想電壓源(沒有內阻)串聯一電阻之等效電路。在直流放電下，該電阻即為等效之直流內阻
- 開路電壓(Open circuit voltage OCV)
  - 電池不放電時，電池兩極之間的電位差被稱為開路電壓。
- 閉路電壓 (Closed circuit voltage, CCV)
  - 當電池開始對負載放電，負載上所得到的分壓也就是電池的端電壓，會小於理想電壓源的電壓，稱之為閉路電壓。
- 放電深度(Depth of Discharge, DOD)
  - 電池放出的容量占其額定容量的百分比
- 電量狀態 (State of Charge, SOC)
  - 電池剩餘電量占其額定容量的百分比， $SOC = 1 - DOD$
- 電池健康狀態 (State of Health, SOH)
  - 電池剩餘壽命之預估值

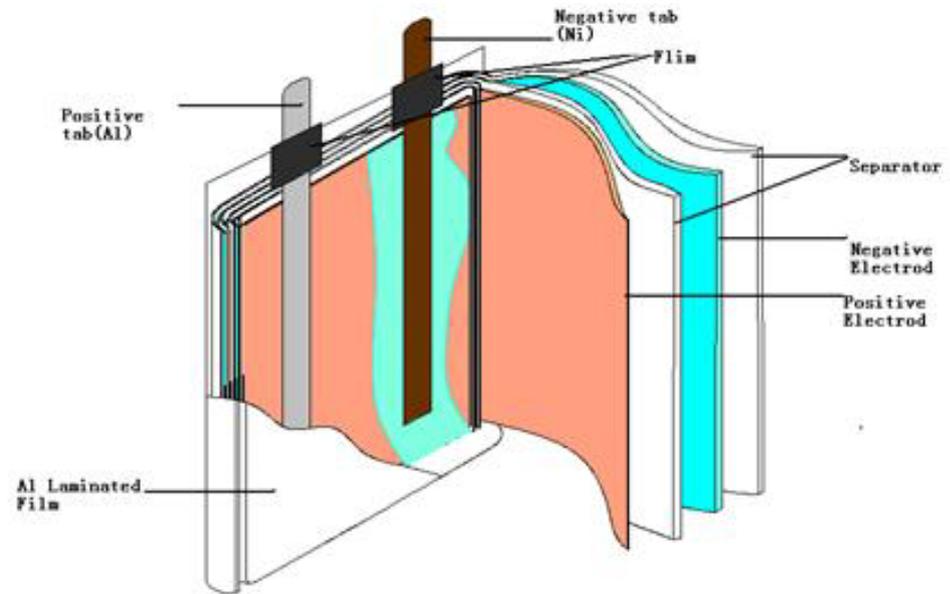
# 電池包裝種類

	圓柱體(捲繞)	方型鋁殼	方形軟包(層疊)
包裝	硬式鋁殼	硬式鋁殼	軟性鋁箔包
工業標準	是 EX: 18650、 26650...等	否	否，客製化
成本	低	中	高
單位正極/負極容量是否平衡	NO • 捲繞有內外徑的差異 • 誰先、誰後?	NO • 捲繞有內外徑的差異 • 誰先、誰後?	YES • 相同大小對稱層疊
電池受損後的保護	YES • 硬殼、排氣閥等	YES • 硬殼、排氣閥等	NO • 電池膨脹 • 需要外部模組封裝保護
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 工藝成熟、成本低</li> <li>• 組裝之間隙可用於散熱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 易於組裝</li> <li>• 保護性高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 容量可做大</li> <li>• 易於組成模組</li> </ul>

# 電池芯之內部結構

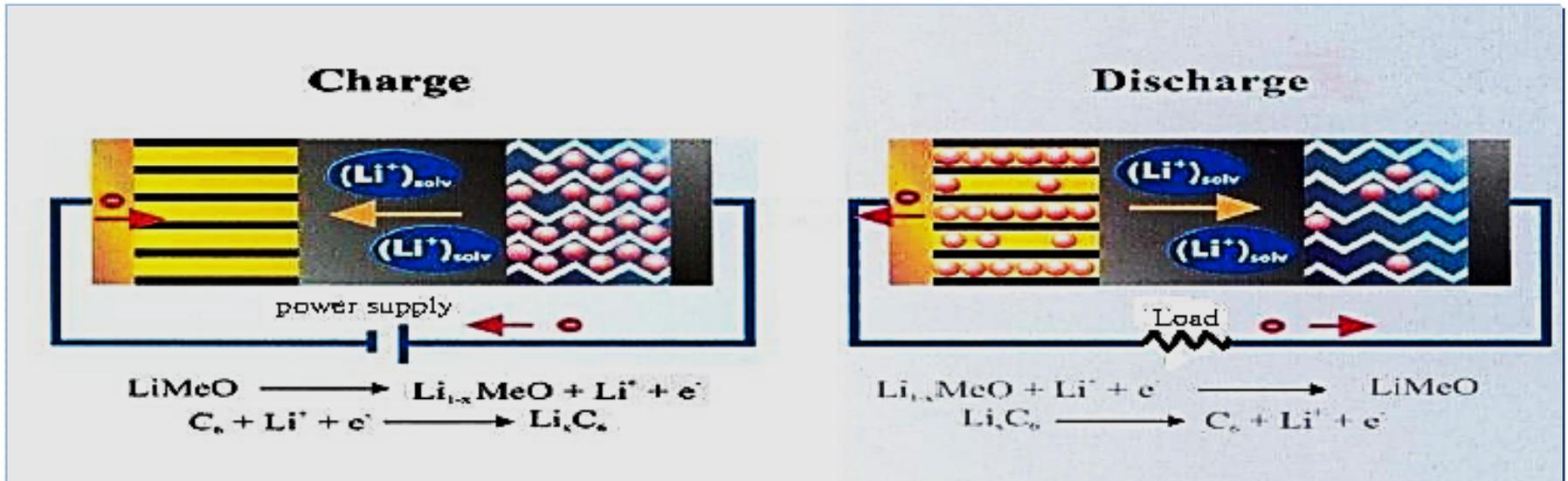


圓柱型(捲繞式)電池



方形(層疊式)電池

# 二次電池之化學反應



充電時，鋰離子由正極向負極移動  
正極材料脫鋰，負極材料嵌鋰

放電時，鋰離子由負極向正極移動  
正極材料嵌鋰，負極材料脫鋰

# 電極材料需求

- 正負極電位能差異大，以便提供較大之電位差(電壓)
- 電極電位變化量小，提供穩定的運作電壓(工作穩定度)
- 具備良好擴散係數與晶體結構，以提供優異充放電性能與嵌鋰容量(工作電流與電容量)
- 化學性質均一，異動性小，提供良好循環壽命(壽命)
- 與電解液具良好相容性，熱穩定度高(安全性)

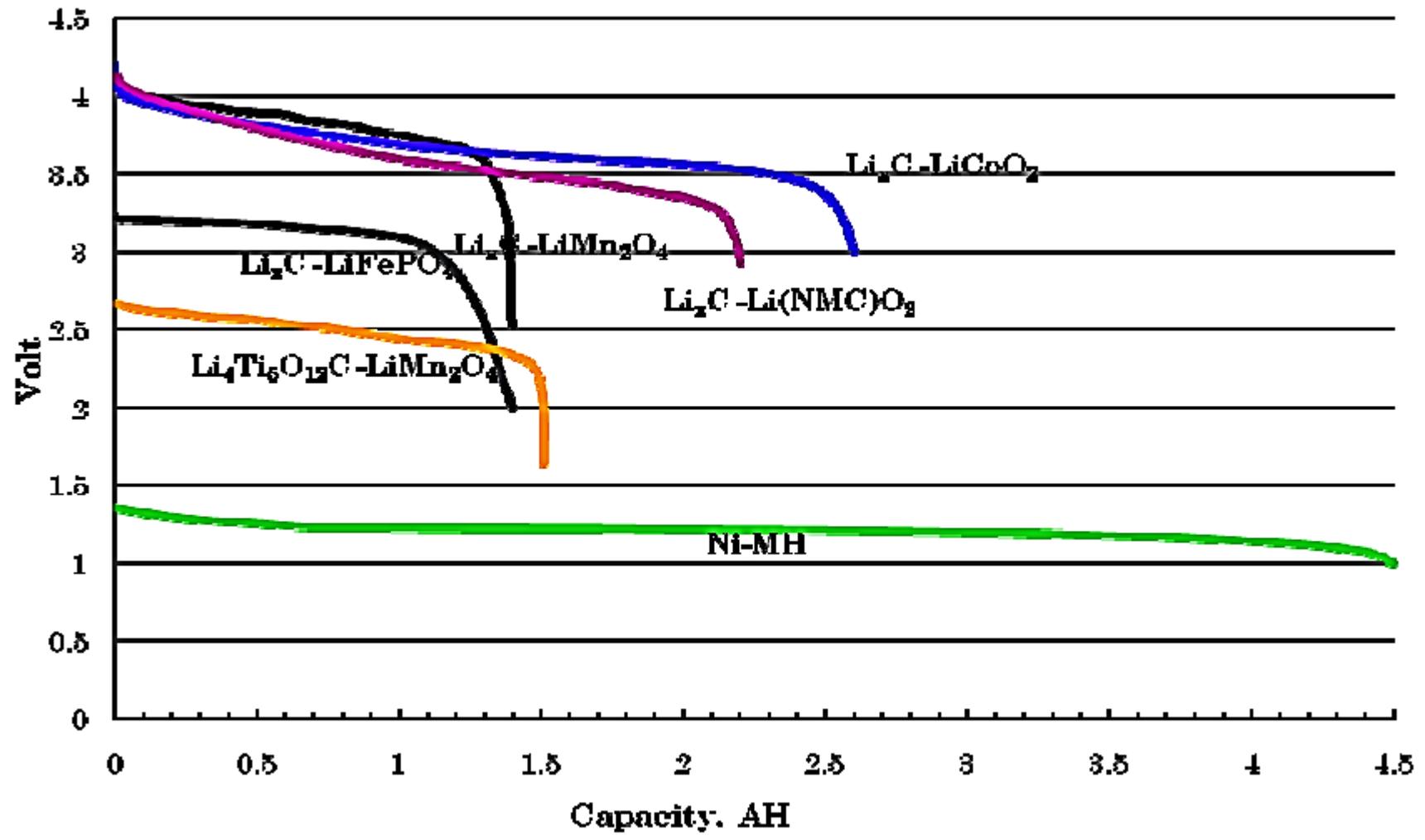
# 電池組之規格需求

- 運作電壓
  - 組成電池組所需串聯數目
- 電容量
  - 需要並聯的電池芯數目
  - 使用時間
- 充放電特性
  - 電壓曲線、訂定運作範圍
  - 電氣特性上下限，決定充放電可能之功率
- 其他依使用目的而定之規格
  - 體積、重量…etc.

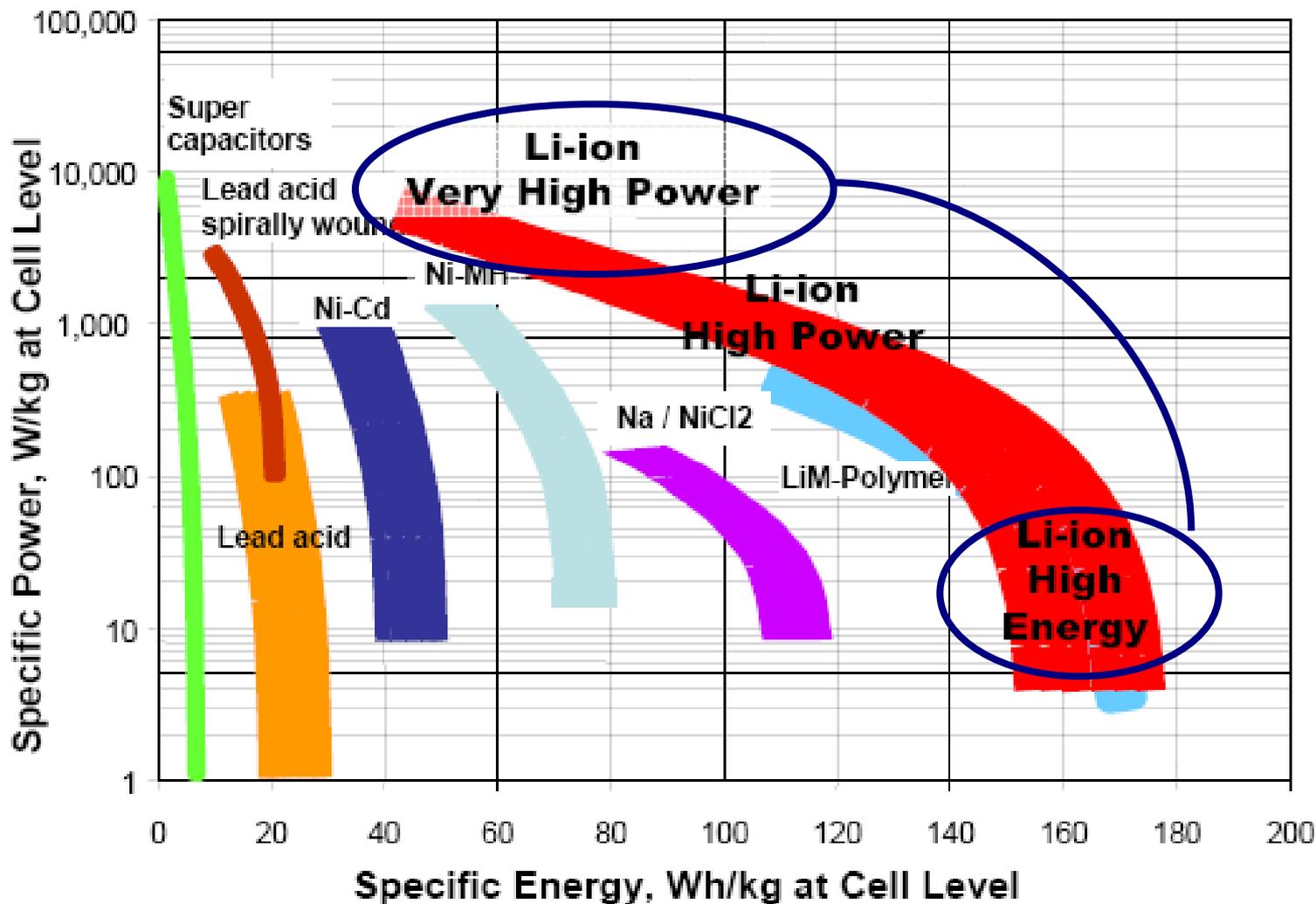
# 正極材料特性與應用\*\*

Chemistry	Material	Wh/kg	Nominal Voltage	Features	Application
Lithium cobalt oxide	$\text{LiCoO}_2$	160~300	3.8V	Most widely used	3C, Tesla
Lithium nickel cobalt aluminum(NCA)	$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$	160	3.7V	High energy density, Safety?	PHEV/BEV
Lithium Manganese spinel	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	160	4.0V	Lifetime?, Low-temp.	PHEV/BEV
Lithium Manganese Cobalt Nickel (NMC)	$\text{LiMn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$	140	3.7V	High energy, high power,	PHEV/BEV
Lithium Titanate (LMO/LTO)	$\text{LiMn}_2\text{O}_4/\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	70	2.5V	High charge/discharge rate	HEV
Lithium ion phosphate (LFP)	$\text{LiFePO}_4$	90~100	3.2V	Cost, Safety and charge/discharge rate	HEV

# 正極材料放電C-V特性



# 電池材料之能量分布



鋰離子電池具有較廣的應用區塊。依據不同的陽極材料，電池可以為高功率或高能量的電池，但不能兼具。

# Agenda

1. 電池產業現況
2. 二次電池簡介
3. 電池管理，BMS系統
4. 結語

# 電池組架構

## 30人31腳 ← → 電池模組設計考量

### 挑選成員考量

- 基本條件：身高、體重
- 體力：不同速度下的跑步距離
- 體能：短跑或長跑



### 挑選電池考量

- 基本條件：材料、尺寸
- 電池容量
- 電池特性(IR、功率...etc.)

### 比賽時的成員狀況

- 體能監控
- 疲勞狀態
- 預估剩餘體能



### 電池性能監測

- 電壓、電流、電量、溫度等監控
- IR估測
- SOC、SOH演算法

### 比賽策略

- 根據成員狀況調整策略，避免成員過度疲勞或失誤



### 根據電池性能調整平衡與監控模式

- 根據電池容量、IR等資訊調整運作模式與平衡策略，避免電池過充、過放或導致提早老化

# 電芯容量要大或是小

- 電動車製造商偏好大電芯
  - 易於組裝與管理
- 電池製造商偏好大電芯
  - 增加產量與減少成本
- 大電芯可減少並聯所需成本
- 大電芯其實良率較低
- 大電芯其實只是等於在包裝內部做並聯
- 大電芯的內部瑕疵更難被檢測出來
- 電芯內部的瑕疵更容易引發災難性的後果

# 電芯的電流分布

- 電流如何通過並聯電池芯？
  - 理論：可以等效電路方式視為單一大電池
  - 實際：

電池芯本來就有製作差異，加上組裝後的線路與接點的影響，電流是否平均流過每顆電芯尚有疑慮。此現象在瞬間大電流與高功率輸出發生時容易出現。

電路元件的相似例子：  
BJT的熱跑脫(Thermal runaway)現象

# 電池PACK架構-BMS功能

- 取得電池狀態資訊 (Information):
- 性能調教(Performance):
- 電池外部保護防護:

# 電池組之規格

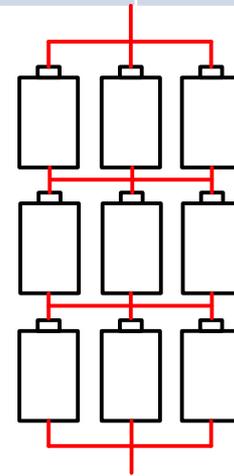
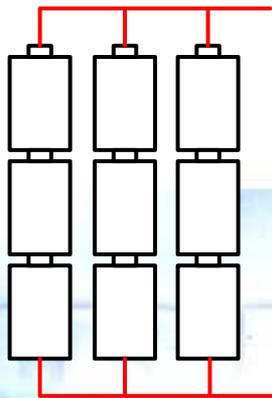
- 依照系統需求，將電池模組組合成所需的電壓及容量
- 電壓優先，或是容量優先？
  - 先串後並，或先並後串？

先串後並(於串聯模組外並聯)

先並後串(模組內並聯後再串聯)

優點	缺點
元件的耐電流大小較低	每串皆需要一組BMS
不須考慮模組內電流分布問題	輸出需有流量控制功能
容易組裝	系統複雜度高

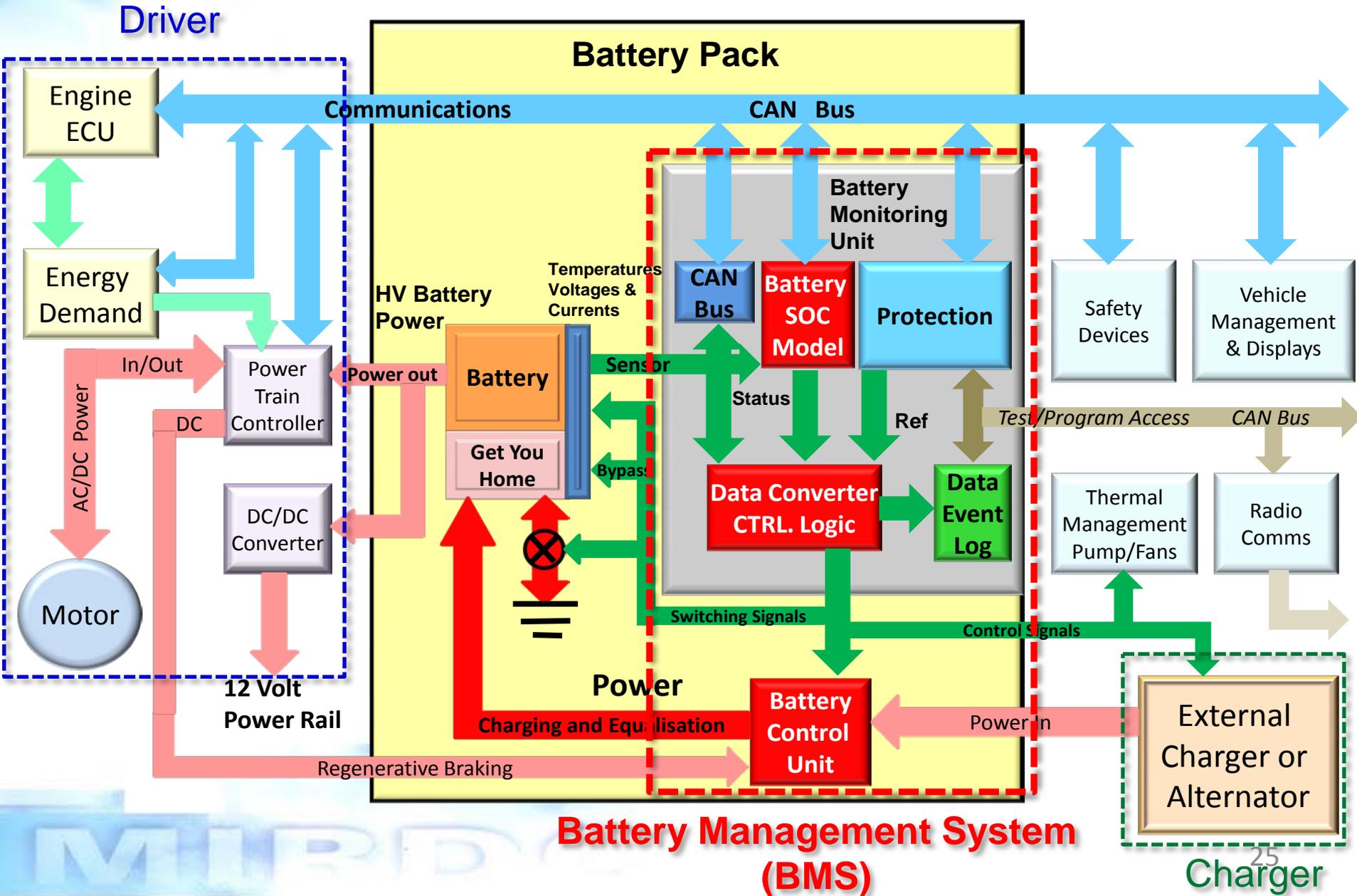
優點	缺點
系統設計較為簡易	系統需直接承受總電流輸出
系統電壓較易變更	平衡不易實施
電路板成本較低	組裝成本較高



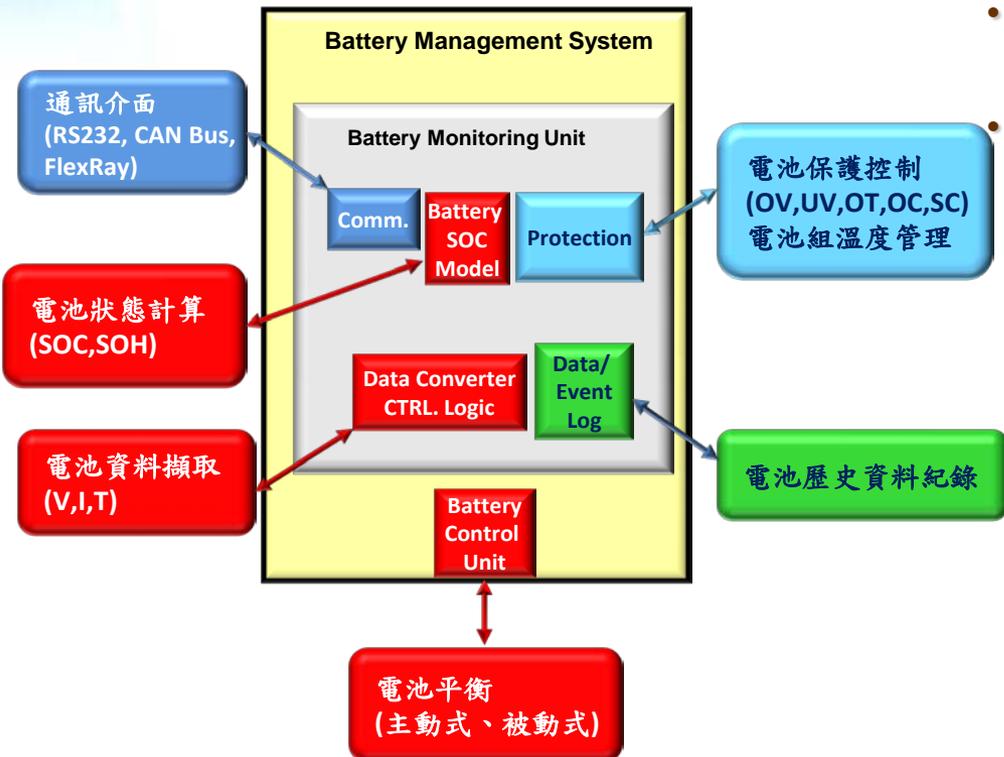
# 電池PACK架構(3/3)-BMS功能

- 負責管理電池模組內所有電芯的狀態，處理包含電壓、電流、溫度等資訊
- 平衡電池組內部各電池芯之狀態，令性能可平均發揮，避免少數影響多數
- 保護電池組，不令電池芯進入過充、過放、過溫及過大電流等危害壽命甚至爆炸燃燒等危險狀態
- BMS除了監測電池模組的狀態外，另一個重要的功能即在於計算預估電池pack的電量(SOC)，告訴使用者電池pack還有多少電量可供使用。因此，SOC即相對於汽油車的油量表。
- 電動車的SOC預估，遠比一般的3C產品的SOC的估算複雜。
  - 3C，靜態充放電
  - 車輛，動態充放電

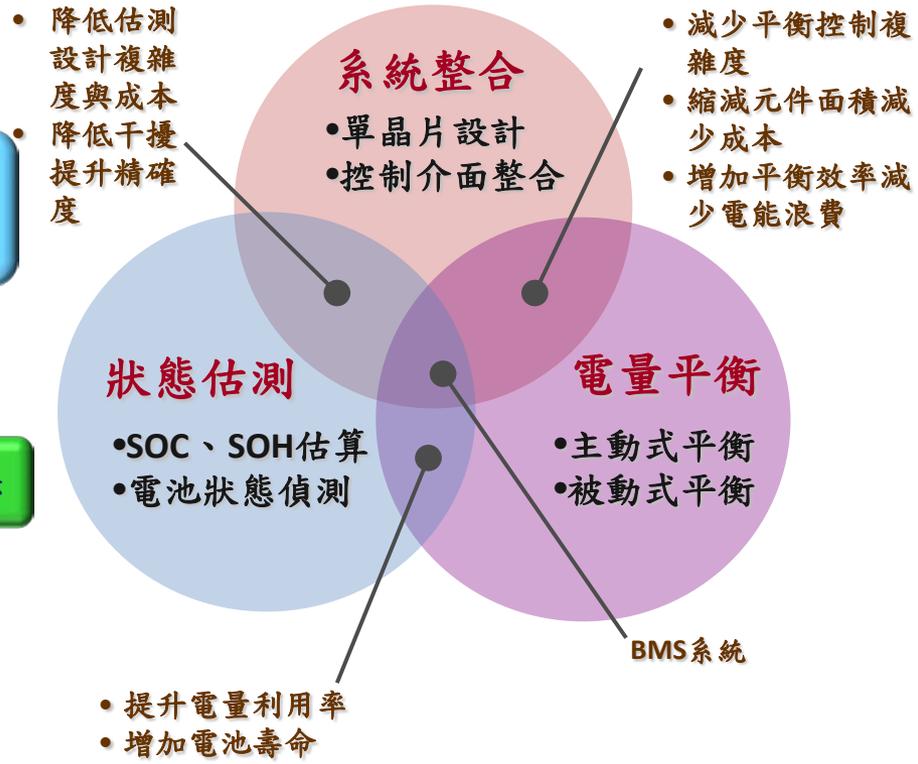
# 電動載具能量管理架構流程



# 電池組管理晶片功能與架構



BMS管理晶片架構圖



## 電池組管理晶片功能

1. 硬體保護功能: 防過充電、防過放電、防過電流、防溫度過高
2. 效能管理功能: V, I, T 偵測、電池殘量 (SOC) 偵測、電池組電量平衡、省電模式
3. 診斷功能: 電池健康 (SOH) 程度預測、車上診斷系統 OBD
4. 介面功能: 通訊介面、資料記錄/報告

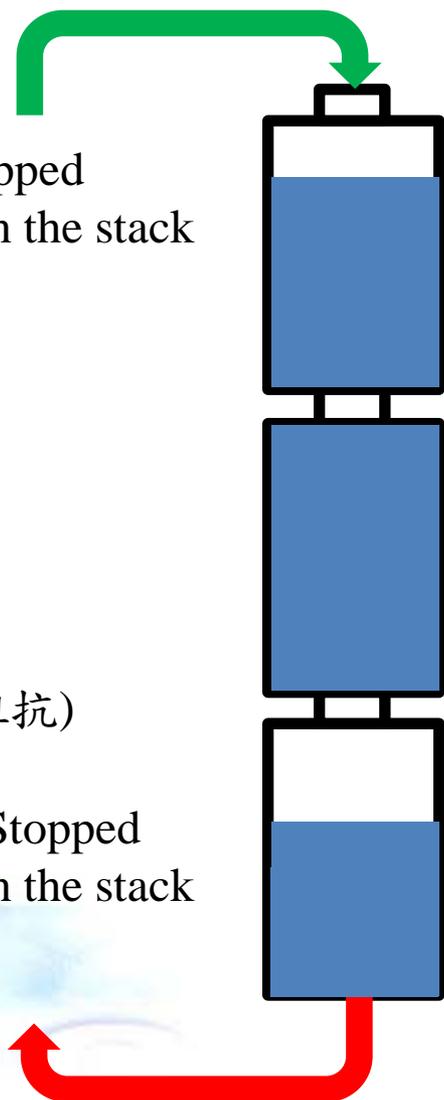
# Necessity of Balancing - Unbalanced Stack

Charge Stopped  
when one in the stack  
is full

電池串列的不平衡

- 電池組內熱梯度的不平均
- 電池芯容量的差異
- 不同的自放電率
- 電池內阻的不同
- 電池芯的相對負載不同  
(供應BMS電源、組裝線材阻抗)

Discharge Stopped  
when one in the stack  
is empty



充電時的平衡

- 不可讓電池芯過充
- 延遲電壓觸頂時間
- 將電池芯差異減小

放電時的平衡

- 不可讓電池芯過放
- 延遲電壓觸底時間
- 將電池芯差異減小

# 電池平衡 (Balancing)

- 被動式
  - 以電阻消耗電池芯內部能量
- 主動式
  - 以電容、電感等元件將電能在電池芯內互相搬移

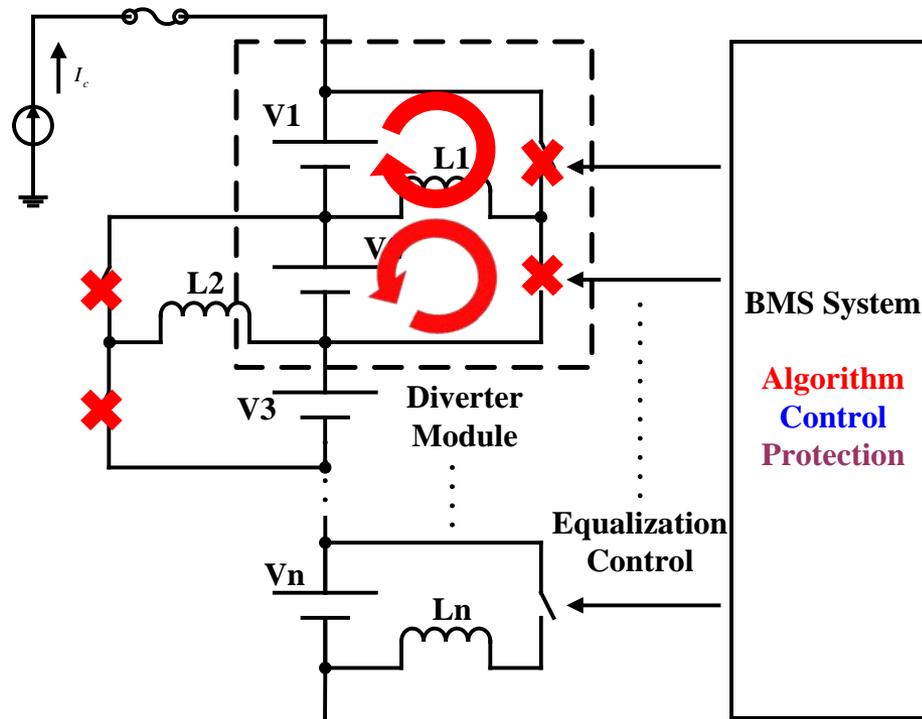
電池平衡方法	說明
被動式平衡	<ul style="list-style-type: none"><li>• 當電池組中某電池電壓達過充電壓時，利用電阻將高電壓電池放電，讓其狀態與低壓電池相同。</li><li>• 浪費電池電能，且利用電阻放電時會產生發熱問題。</li><li>• 齊頭式的平等，強迫電壓較高者消耗能量。</li></ul>
主動式平衡	<ul style="list-style-type: none"><li>• 利用電容與電感等元件將能量搬移，使電池芯狀態趨於一致。</li><li>• 能量使用效率較高，但控制邏輯與電路設計較複雜。</li><li>• 每顆電池的立足點的平等，較高者釋放能量幫助較低者。</li></ul>

# 平衡方法比較

	被動式平衡	主動式平衡	
		電容式	電感式
架構	消耗滿充電池之電能	將電池間能量互相搬移	
平衡電流	~200mA	~1A	~10A
運作狀態	僅可用於充電	隨時	隨時
效率	0%	~90%	~95%
成本	低	中	高
優點	成本低，易於控制	直接以電壓作為能量單位	平衡電流可受控制
缺點	浪費電能	有電流突波與電流較小的問題 不受控的能量傳遞	控制複雜度較高

# 主動式平衡技術 (1)

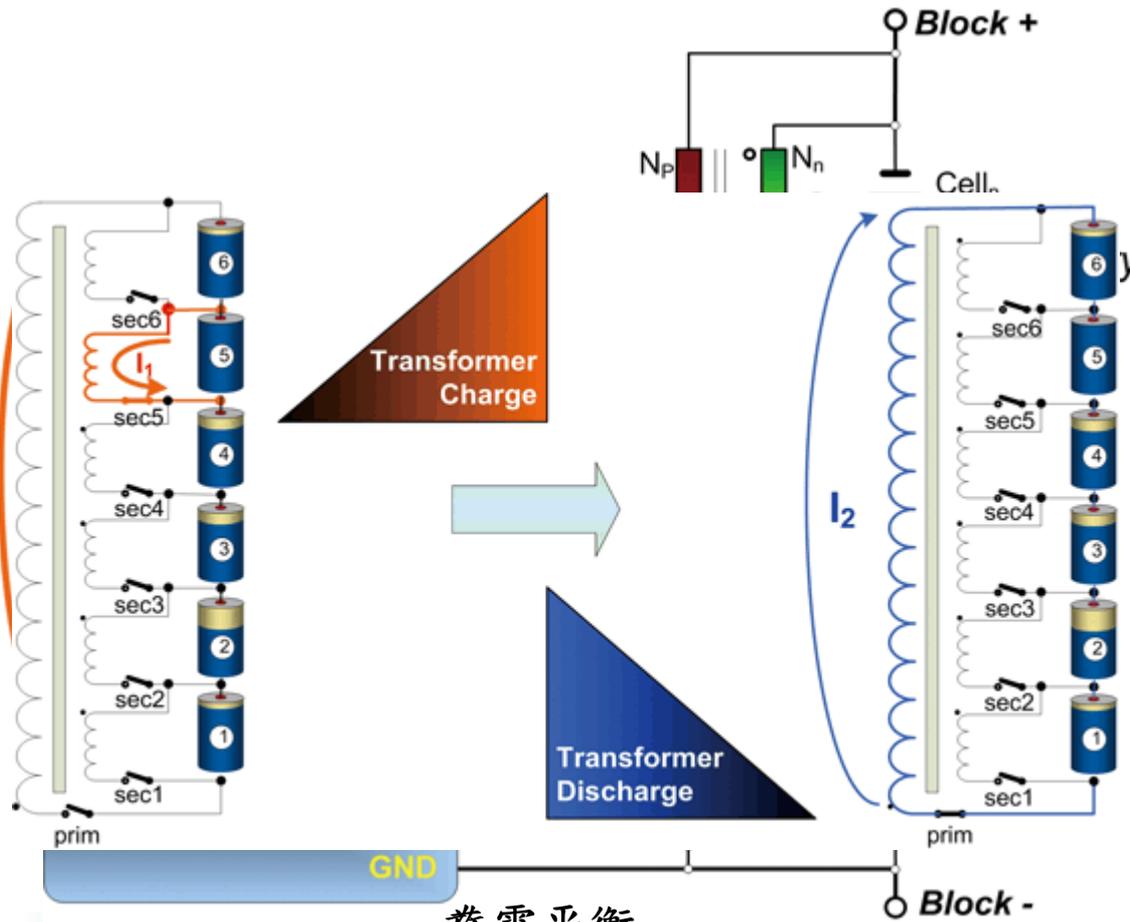
## TI Power-Pump Balancing



缺點：若電能要由上搬至最下方，效率很低

# 主動式平衡技術 (2)

## Infineon Active Balancing



電平衡

缺點：昂貴的特製線圈

# 對主動平衡的誤解

- 放電平衡是將能量由高的電芯搬到低的電芯
- 充電平衡亦是將能量由高的電芯搬到低的電芯
- 電壓即代表電量與電池輸出能力
- 相對減少低能量電芯的輸出電流，減緩電壓降低速度
- 相對減少高能量電芯的輸入電流，延後充飽電的時間
- 電壓僅在充放曲線兩端有較大之權重

# 平衡功能之趨勢

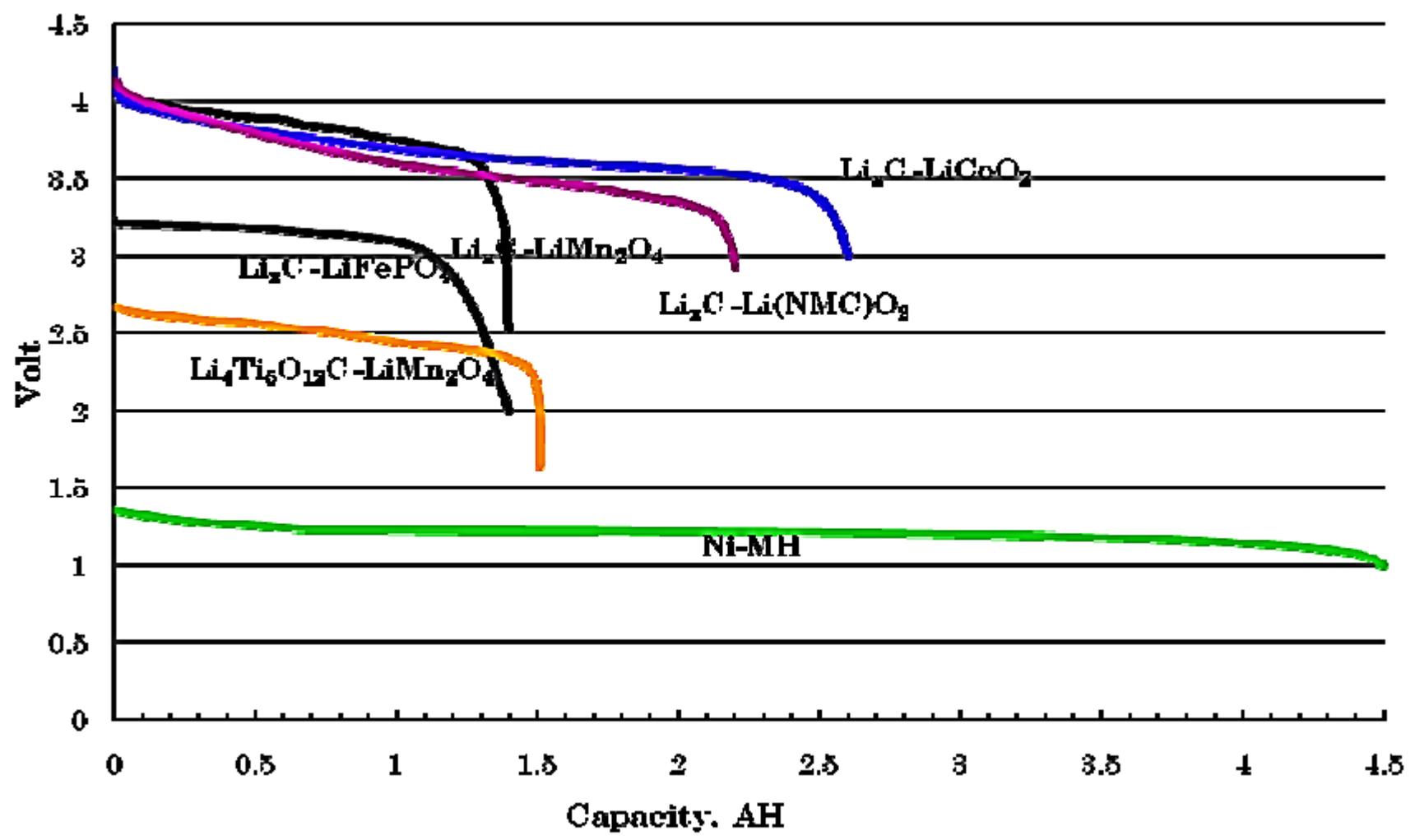
- 電感(磁場儲能)式架構為未來主流
  - 可受控制之電流大小與平衡時間
- 大功率的平衡能力
  - 配合功率型Hybrid與電能型EV電池
- 避免影響電池壽命
  - 重複且持續的電量搬移是否會加快電池老化?
- 除了降低電池芯之現況差異外，還要能平衡其壽命
  - 與SOC、SOH演算法整合

	TI Bq76PL102 & Bq78PL116	O2 OZ890	Linear LTC6802	MAXIM MAX11068	Analog Devices AD7280A
架構	主從式 Master:PL114 Slave:PL102	單晶片 (Programmable)	單晶片 (Functional, Controlled by MCU)	單晶片 (Programmable)	單晶片 (Functional, Controlled by MCU)
晶片串接 數量	Master x 1 Slave x 4	16	16	31	8
電池芯監 控數量 (無隔離器)	12 (PL116x4 + 4xPL102x2)	13	12(192)	12(372)	6(48)
通信方法	I2C(SMBus) 電流模式 Daisy chain No isolator	I2C(SMBus) 電壓模式 星狀連接 需隔離器 (optical or dc/dc)	SPI 電流模式 Daisy chain No isolator	I2C(SMBus) 電壓模式： 星狀連接(須隔離器) 電流模式： Daisy chain No isolator	SPI Daisy chain
平衡方法	外部主動式	被動式	被動式	被動式	被動式
平衡電流	視元件設計 10mA to 1A	N/A	Internal: 200mA	Internal: 200mA	視元件設計
應用範圍	PHEV, E- bike, 移動式 產品	HEV, E-bike, 移動 式產品	UPS, 電動載具, 高 功率產品	電動載具, 高功率產 品, 工具機	電動載具, 工具機

# SOC估測方法

方法	優點	缺點	精度	採用廠商
直流阻抗	<ul style="list-style-type: none"> <li>可從阻值變化得知電池殘量(SOC)與放電深度(DOD)</li> <li>SOH估測</li> <li>電池品質監測</li> </ul>	並非與化學特性相關之交流阻抗(AC)	Fresh Battery 5%~10% (非電池組)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ADI(有電路架構尚無成品)</li> </ul>
庫倫積分法	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low/middle Cost</li> <li>電量進出可精確計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>量測電阻溫升導致阻值飄移</li> <li>全充電量與初始放電量須已知</li> </ul>	Fresh Battery 5%~10% (非電池組)	各家廠商均採用此方法
電壓測量法	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low Cost</li> <li>即時、開始精確度高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電池經過循環後準確度低</li> <li>易受放電電流影響</li> </ul>	Fresh Battery 10%~20% (非電池組)	<ul style="list-style-type: none"> <li>TI</li> <li>O2</li> <li>Maxim</li> </ul>
線性模型法	可根據即時數據計算電池狀態	<ul style="list-style-type: none"> <li>可靠的電池模型不易取得</li> <li>不同電池模型之參數也不相同</li> </ul>	Fresh Battery 5%~10% (非電池組)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maxim (V-T-C)</li> <li>O2 (V-C)</li> </ul>
Kalman Filters	<ul style="list-style-type: none"> <li>可線上估測並提供估測誤差範圍</li> <li>動態反應佳</li> <li>動態模式誤差容忍度較高</li> </ul>	處理器之運算能力與速度性能要求較高	Fresh Battery 5%~10% (非電池組)	<ul style="list-style-type: none"> <li>業者尚無實際應用電路</li> </ul>
Impedance Track	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用內阻模型修正化學電容量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>修正時間過長</li> <li>使用手動方式校正</li> </ul>	Fresh Battery 5%內 (非電池組)	TI 採用此方法並申請專利保護

# 電壓估測法\*



# 電壓估測法\*\*

- 簡單易用
  - 直接以電壓變化作為SOC估測基準
- 在電壓曲線兩端點之精準度不足
- 易受電流變化所影響
  - 電池內阻在大電流下使得電池電壓產生瞬降
- 電壓實際上不代表儲能

加上電流參數作為SOC估測之校準條件

# 庫倫積分法

- 紀錄電池之充放電資訊，實際計算電池現有能量
- 電流量測之方式極易受到溫度影響
  - － 電阻法與霍爾效應法
- 需有準確之初始條件
- 電池老化之後會產生初始誤差，需重新校正
  - 加上電池阻抗參數進行調整

# 電池內阻法(直流阻抗)

- 實際將電池內部狀態列入估測參數
- 利用電壓與電流變化推算阻抗值，作為電池狀態之主要參數
  - 放電時，能量越低，阻抗越大
    - 其變化量不一致，但可作為趨勢參考
- 需要紀錄每個電池芯之狀態與使用資訊
- 易受電池組裝之電路與線材影響

# SOC估測之瓶頸

- 電流量測不準確
  - 電阻跨壓法與霍爾感測法
  - 主動式平衡的影響
- 電池反應為化學變化，影響的變因很多，量到相同的數值並不代表狀態一樣
- 電池芯準了，但電池組的變數更多
- 循環壽命的問題
- 人為因素

# 動力電池發展趨勢

- 目前一般OEM所使發展的動力電池以磷酸鋰鐵( $\text{LiFePO}_4$ )與錳酸鋰( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )為主。日本車系均以錳酸鋰為主，大陸車廠則以磷酸鋰鐵為主。一般而言，在大中華地區使用磷酸鋰鐵專利問題不嚴重，台灣廠商的專利均屬於製程的專利，離開大中華地區仍有專利問題。
- 目前的鋰電池價格仍以18650最為便宜，保守估計至2013年前仍有價格的優勢，動力電池未來的包裝仍以堆疊式為主流，因其在體積能量密度上有優勢。
- 電池pack的熱管理系統為重要的研究議題。
- 電池pack的安全性(Crash & service)必須驗證。
- 高功率電池大約在2015 to 2020間開始成熟上市。
- 目前的電池量仍以prototype測試為主，仍無法進入量產的規模。
- 由於PHEV與EV均使用大量的電池，因此Market incentives 必須提供以抵銷電池的高價位。

# BMS系統之趨勢

- 電池組必然往高功率方向前進
  - BMS應配合精進系統耐壓能力與相關監測功能
- 符合UL、AEC等安規規範
  - 曠日廢時與燒錢的驗證之路
- 平衡功能及SOC、SOH估測技術的整合
  - 雞生蛋、蛋生雞的相互影響
  - 相輔相成累加功效
- 大量運算的需求
  - 系統層級的規劃與設計要進一步提升
- 客製化系統

簡報完畢  
恭請指導!