



ระบบสะสมพลังงานเชิงเคมี-ไฟฟ้า

Electrochemical Energy Storage System: (EESS)

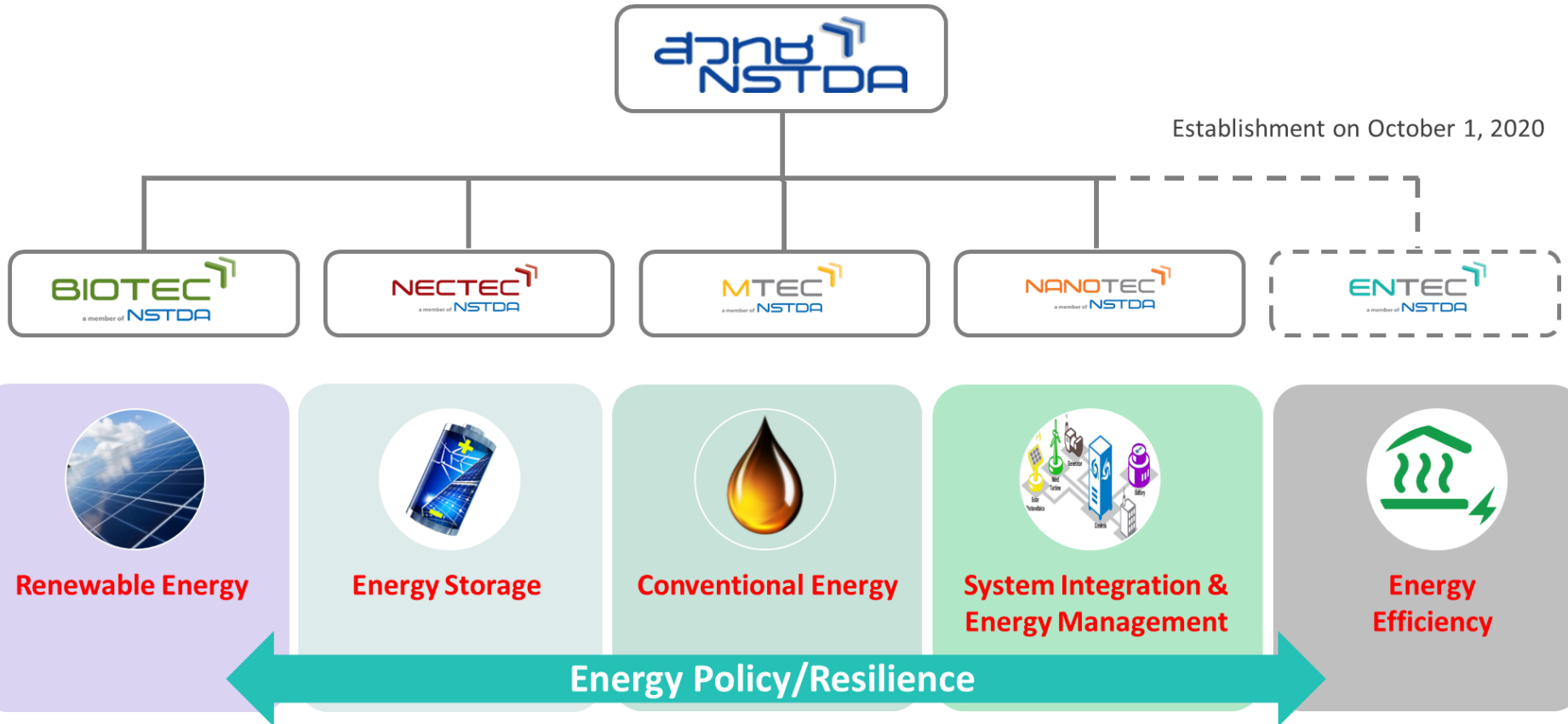
Battery Energy Storage (BESS): Lead Acid, Nickel Cadmium,  
Lithium-Ion, Sodium Sulfur, Vanadium Redox

---

ธัญญา แพรวพิพัฒน์

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



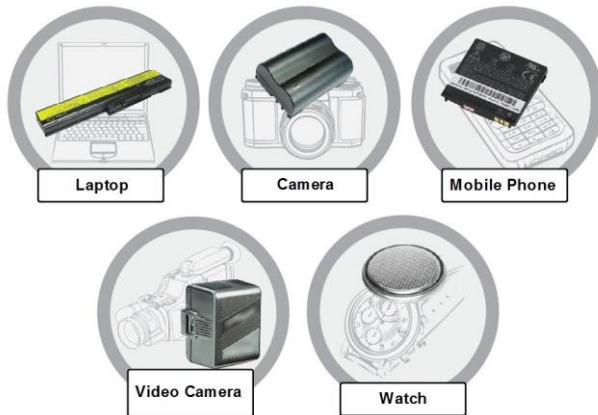
# Outline

- Definition
- Types of Battery



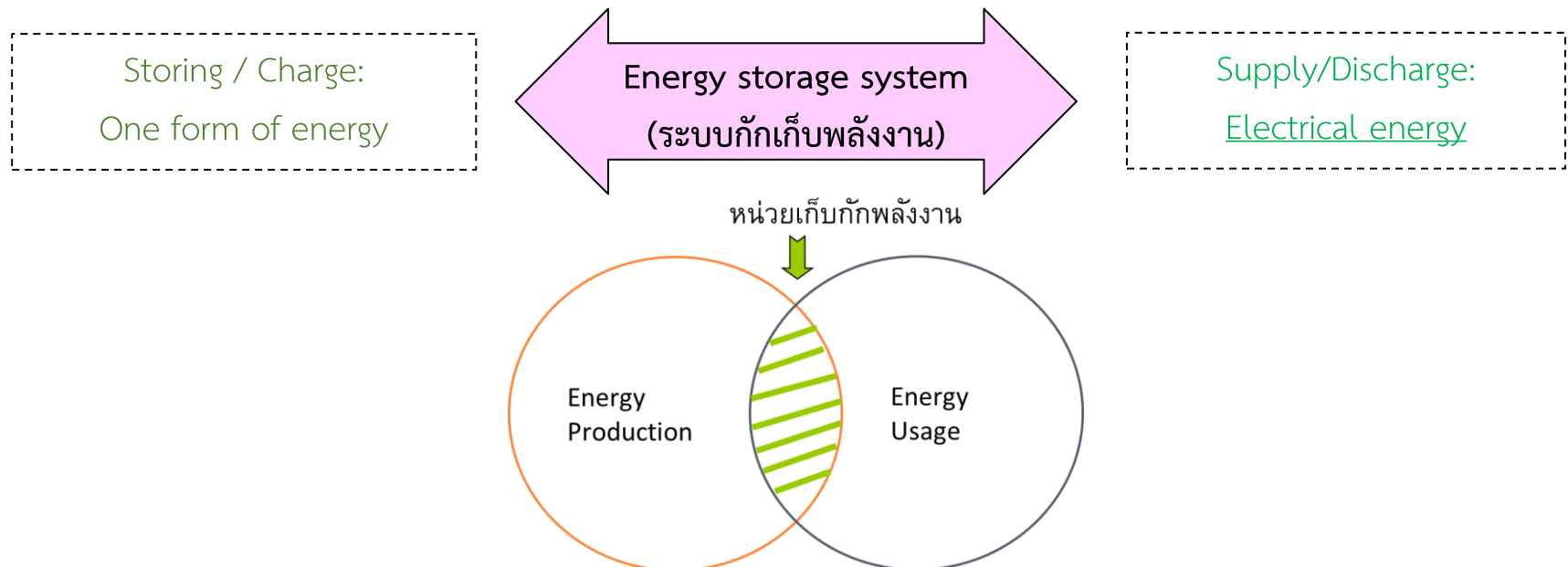
# What is Energy storage?

- แหล่งพลังงานสำรอง เช่น UPS
- แหล่งจ่าย หรือ อุปกรณ์ที่สามารถจ่าย พลังงาน เช่น Batteries
- อุปกรณ์ที่สามารถสะสม หรือกักเก็บพลังงาน เช่น Power Bank
- Electric car
- ????



# Definition

- Energy storage = แหล่งกักเก็บพลังงาน / แหล่งสะสมพลังงาน
- ระบบกักเก็บพลังงานหมายถึง ระบบที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานในรูปแบบอื่นเพื่อสะสมพลังงานไว้ และจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อต้องการ



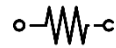
# Basic Concept of Energy Storage



Current\_I (Amp)



Voltage\_V (Volts)



Resistance\_R (Ohms)



Capacity (Ah) ความจุไฟฟ้า

= Current x time

=  $I \times h$



Power\_P (W) กำลังไฟฟ้า

=  $V \times I = I^2 R$



Energy\_E (Wh) พลังงานไฟฟ้า

= Power x time

= Voltage x Capacity

=  $(V \times I) \times h$



# Figure of Merits (1)

Specific energy density

Wh/kg

พลังงานไฟฟ้า ต่อ น้ำหนัก หรือ ต่อ ปริมาตร

Volumetric energy density

Wh/liter

=> ความจุพลังงาน

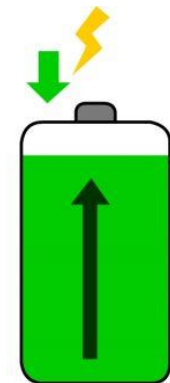
# Figure of Merits (2)



Efficiency

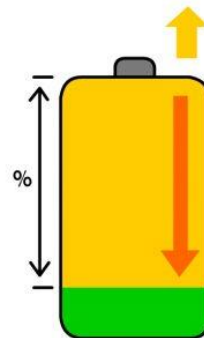
%

อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่จ่ายได้ ต่อ พลังงานที่สะสมไว้  
=> ไฟที่ชาร์จไปเอามาใช้ได้กี่ %



**State of charge (SoC)**

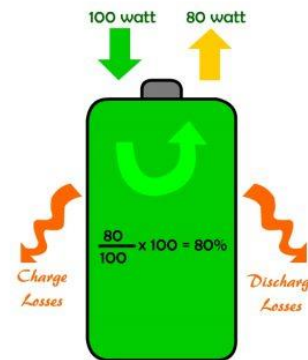
The current state of a battery.



**Depth of discharge (DoD)**

The amount of a battery's capacity that has been used. Most manufacturers will specify a maximum DoD for optimal performance related to lifetime of the battery after repeated use.

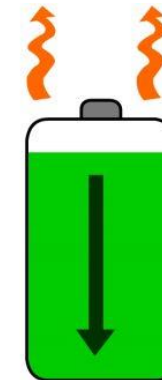
A fully discharged battery will have shorter reusable lifespan.



**Round-trip efficiency**

The ratio of the energy recovered from the energy storage device and the energy input into the device.

Losses includes heat loss.



**Self Discharge Rate**

Self-discharge decreases the shelf life of batteries and causes them to initially have less than a full charge when actually put to use.

greensarawak.com



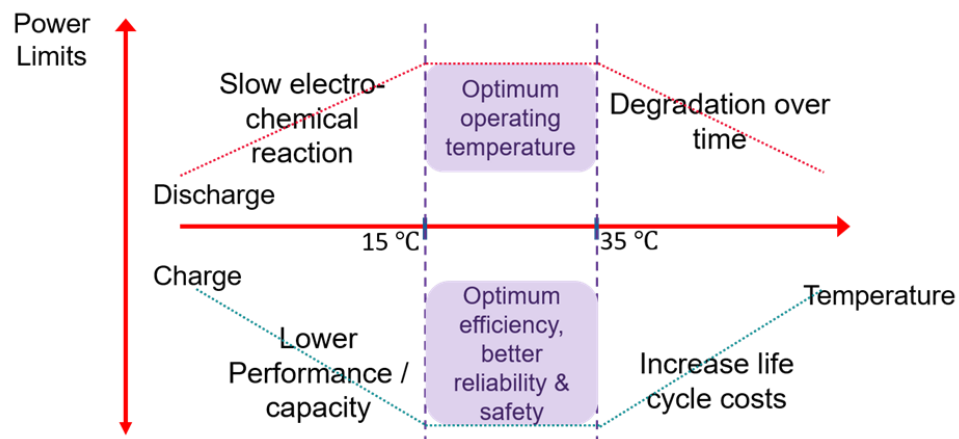
# Figure of Merits (3)



Life cycle

cycle

จำนวนครั้งที่แหล่งกักเก็บพลังงานสามารถจ่ายได้ต่อการ recharge  
=> ใช้ได้กี่ครั้ง



# Battery C-Rating

C-rate: หน่วยวัดกระแสที่ใช้ในการประจุหรือปล่อยประจุแบตเตอรี่เทียบกับความจุที่ 100%

C/10	C/5	C/4	C/3	C/2	1C	2C	3C	4C
10 hours	5 hours	4 hours	3 hours	2 hours	1 hour	30 minutes	20 minutes	15 minutes

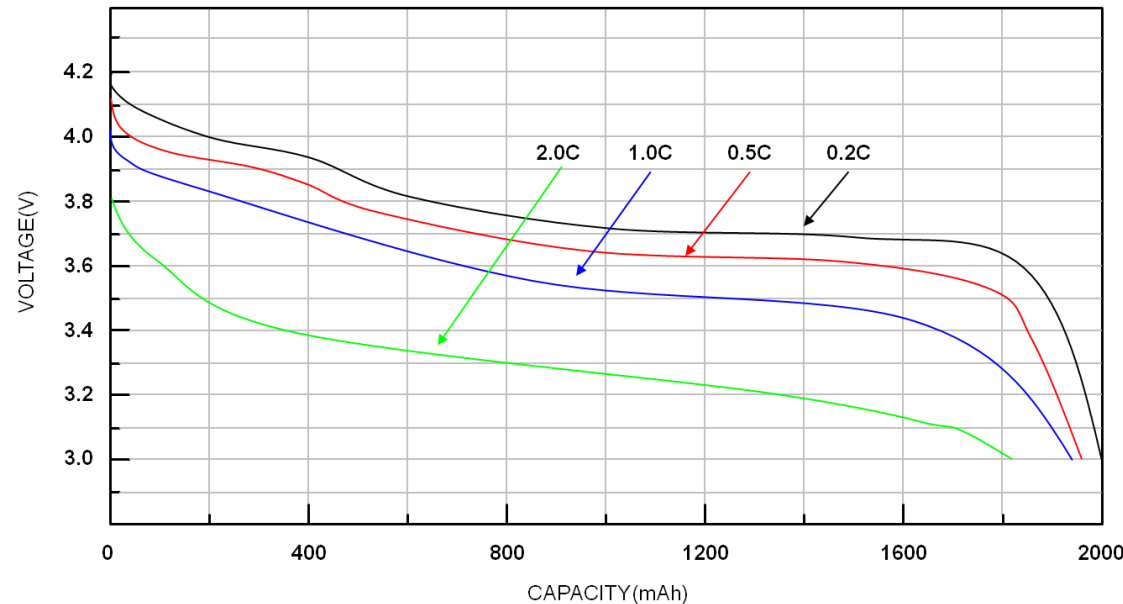
SLOW CHARGE

FAST CHARGE

STEADY DRIVING

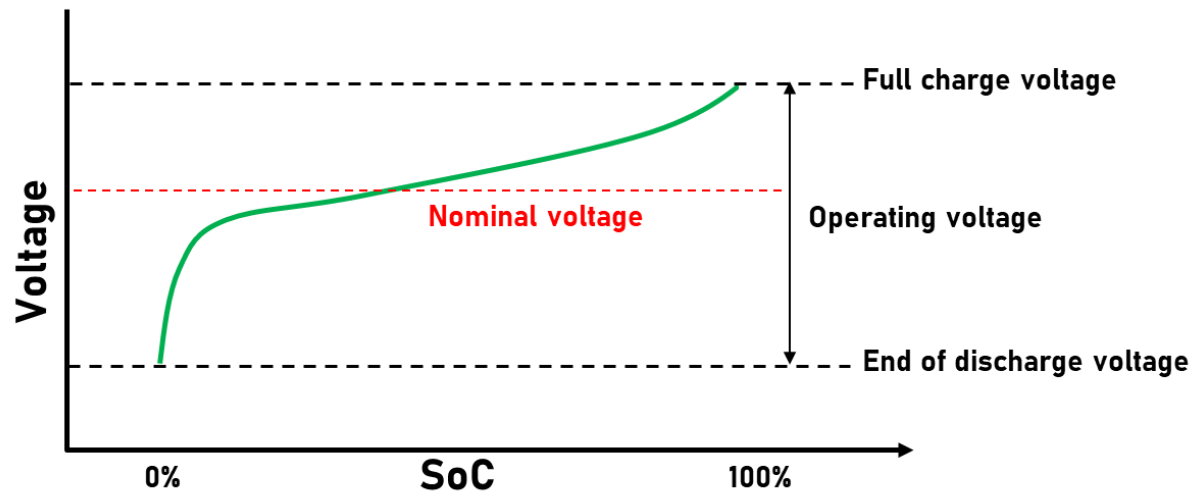
FAST ACCELERATION

C-rate สูงสุด/ต่ำสุด/เหมาะสม ของ  
แบตเตอรี่แต่ละชนิด และ แต่ละยี่ห้อ  
ไม่เหมือนกัน



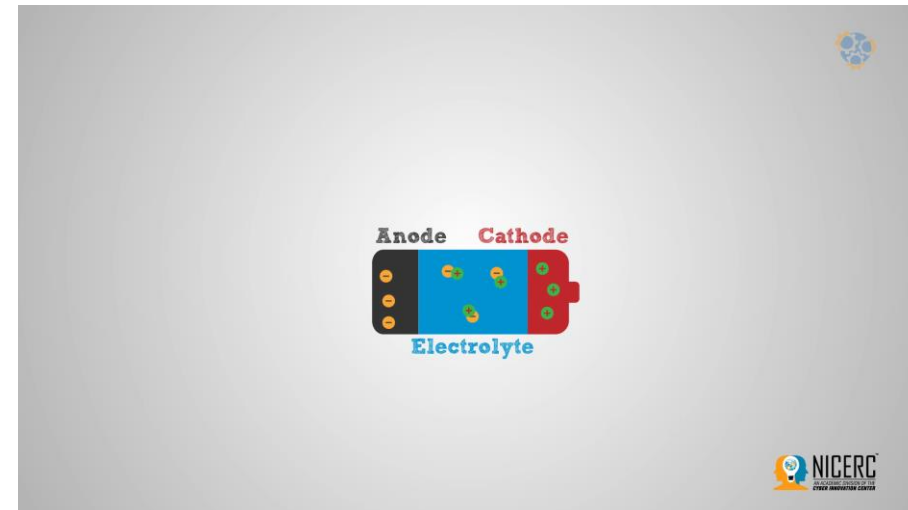
# Battery Voltage

- ⚡ Nominal voltage: ใช้ระบุเป็นค่าแรงดันตัวแทน หรืออ้างอิง ของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ผู้ผลิตรับรองในการนำไปใช้งาน
- ⚡ Cut-off voltage / End-of-discharge voltage (EODV): ค่าแรงดันน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ในการปล่อยประจุไฟฟ้า
- ⚡ Full charge voltage: แรงดันสูงสุดเมื่อประจุไฟฟ้าได้เต็มความจุ ซึ่งจะใช้เป็นพารามิเตอร์ในการควบคุมการประจุไฟฟ้า



# Battery Configuration

1. แอโนด: Anode: negative (lower voltage) electrode
  - Chemical oxidation occurs (lose electrons)
  - Pb, Zn, graphite, carbon, Li, lithium titanium oxide
2. แคโทด: Cathode: positive (higher voltage) electrode
  - Chemical reduction occurs (gain electrons)
  - $\text{PbO}_2$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$
3. อิเล็กโทรไลต์: Electrolyte
  - Separation of ionic transport and electrical transport
  - Ions to move between electrodes and terminals
  - Current to flow out of the battery to perform work
  - Can be aqueous or non-aqueous



<https://youtu.be/PyrWx4ExZE4>

# Secondary Batteries

ชาร์จใหม่ได้

Lead acid

กรดตะกั่ว



Pb



Nickel Cadmium

Nickel Metal Hydride

Sodium sulfur (NaS)

Sodium Nickel Chloride (NaNiCl)

Li-ion

Redox flow

Metal – air

Ni-based

กลุ่มนิกเกิล



Ni-Cd



Ni-MH



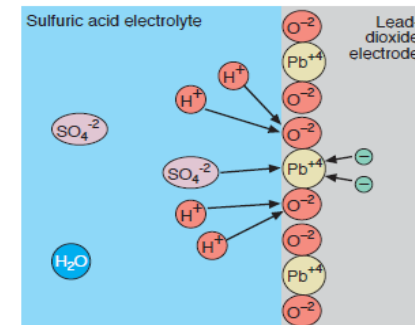
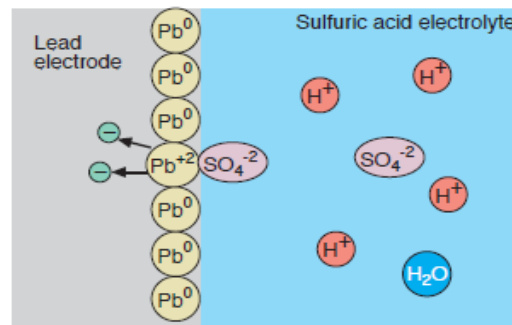
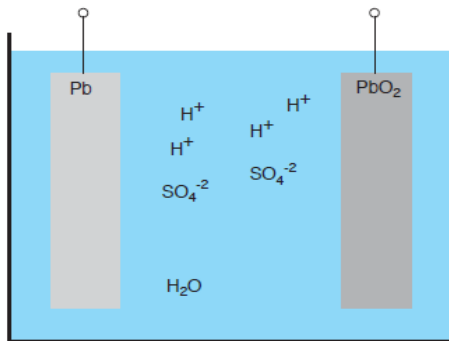
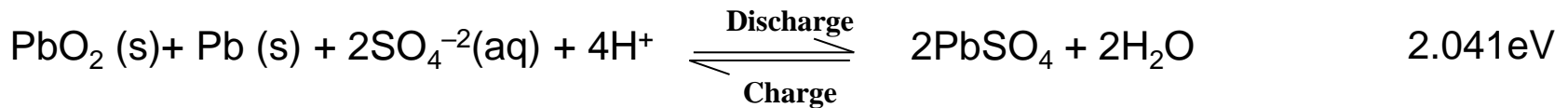
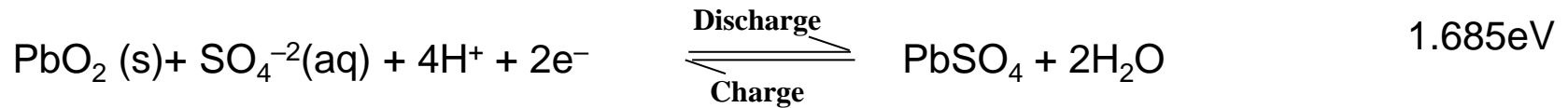
Na-based/ molten salt  
กลุ่มโซเดียม



Li-ion

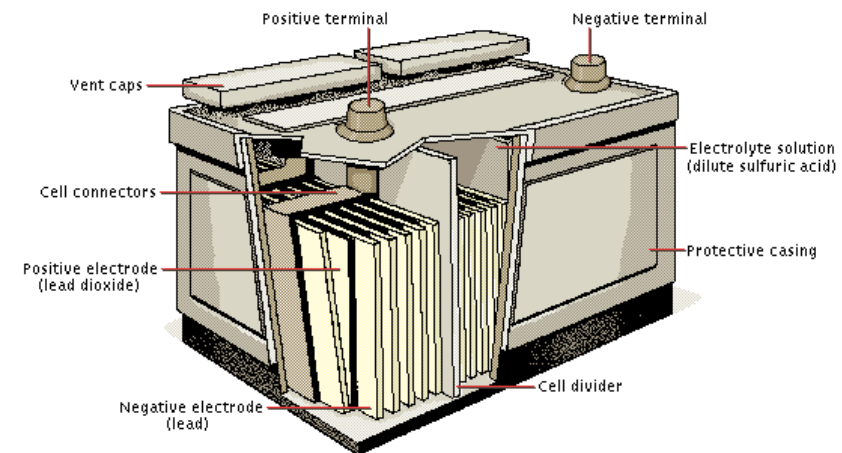


# Lead Acid Batteries

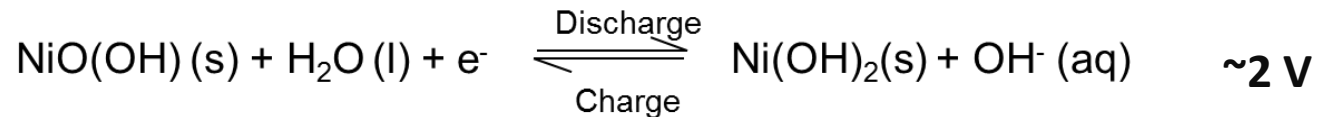
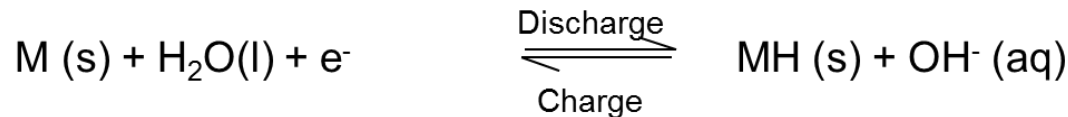
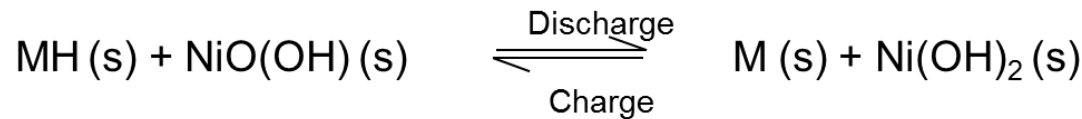


# Lead Acid Batteries

- Chemistry: Lead and Sulfuric acid electrolyte
- Features
  - + Least expensive
  - + Durable
  - Low energy density
  - Toxic
- Low self-discharge: 40% in one year
- No memory effect
- Limited number of full discharges
- Danger of overheating during charging



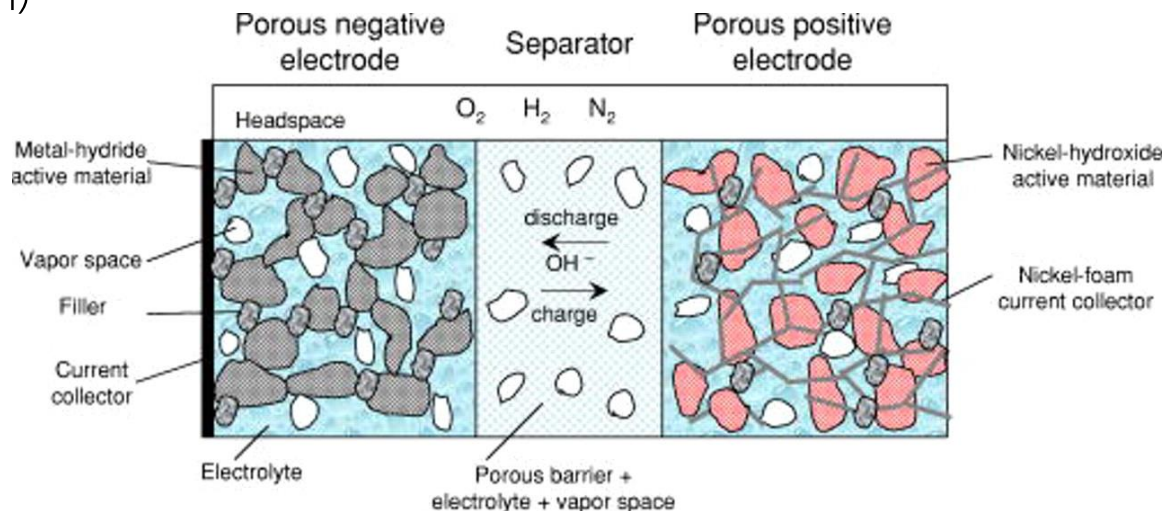
# Nickel Metal Hydride Batteries (NiMH)



Metal Hydride (MH)

$\text{AB}_2$  or  $\text{AB}_5$

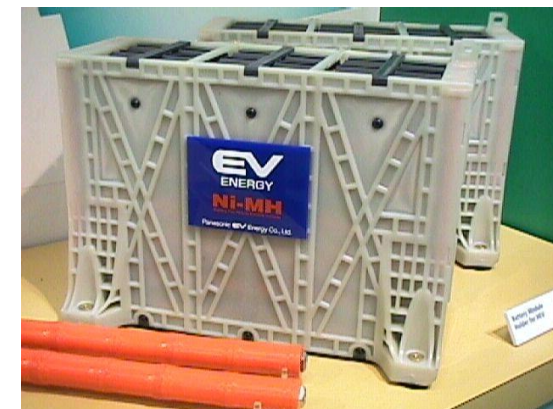
- e.g.  $\text{ZnNi}_2$ ,  $\text{LaNi}_5$





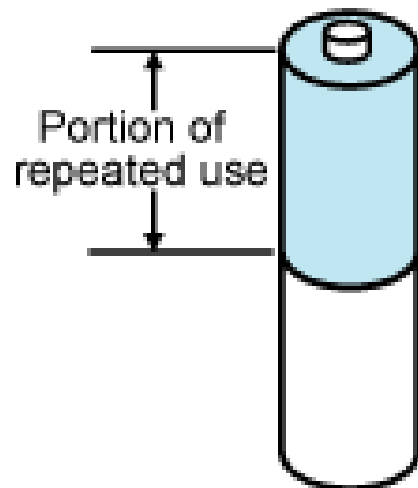
# Nickel Metal Hydride Batteries (NiMH)

- **Chemistry:**  $\text{LaNi}_5$ ,  $\text{TiMn}_2$ ,  $\text{ZrMn}_2$  (-), nickel hydroxide (+), Potassium hydroxide aqueous electrolyte
- **Features**
  - + Higher energy density (40%) than NiCd
  - + Nontoxic
  - Reduced life, discharge rate (0.2-0.5C)
  - More expensive (20%) than NiCd
- Less prone to memory than NiCd
- Shallow discharge better than deep (Degrades after 200-300 deep cycles)
- Need regular full discharge to avoid crystals
- Self discharge 1.5-2.0 more than NiCd
- Longer charge time than for NiCd (To avoid overheating)

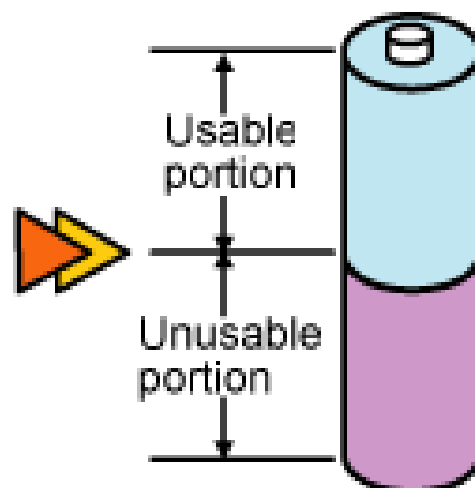


# Nickel Metal Hydride Batteries (NiMH)

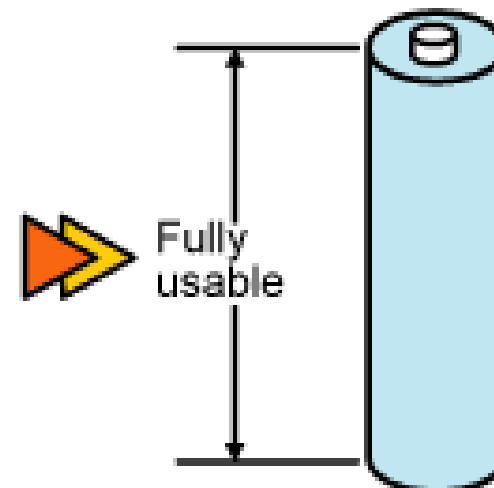
In the case that repeatedly discharging a battery of shallow depth of discharge



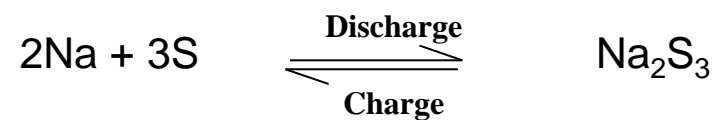
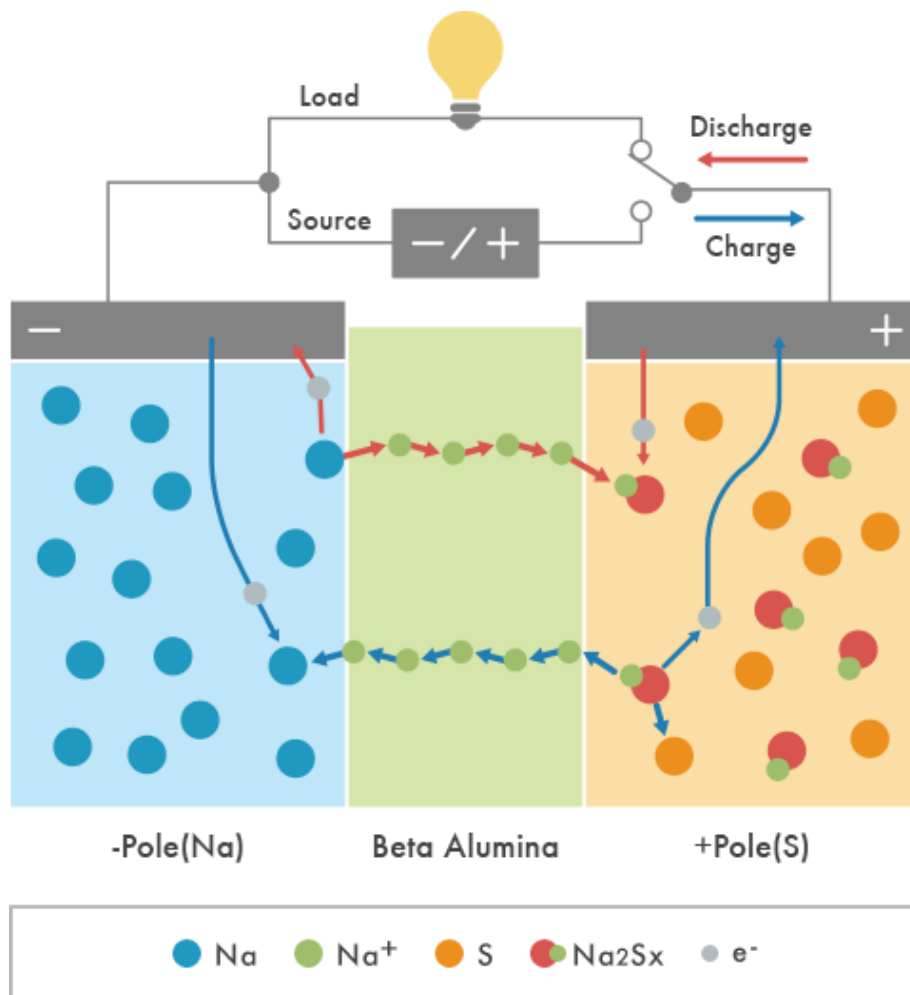
Memory effect



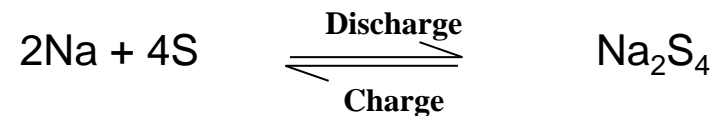
Memory effect can be eliminated by repeated full discharge



# Sodium Sulfur Batteries (Na-S)

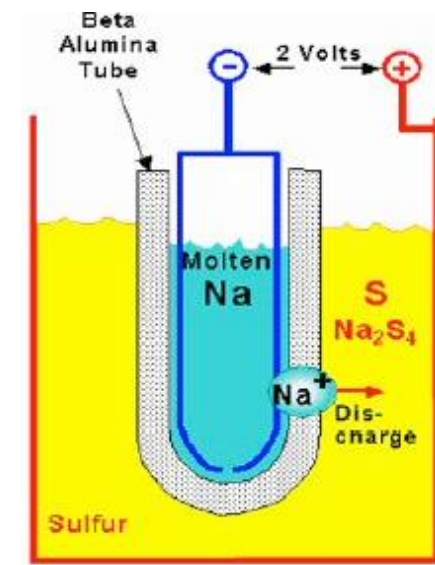


or



# Sodium Sulfur Batteries (Na-S)

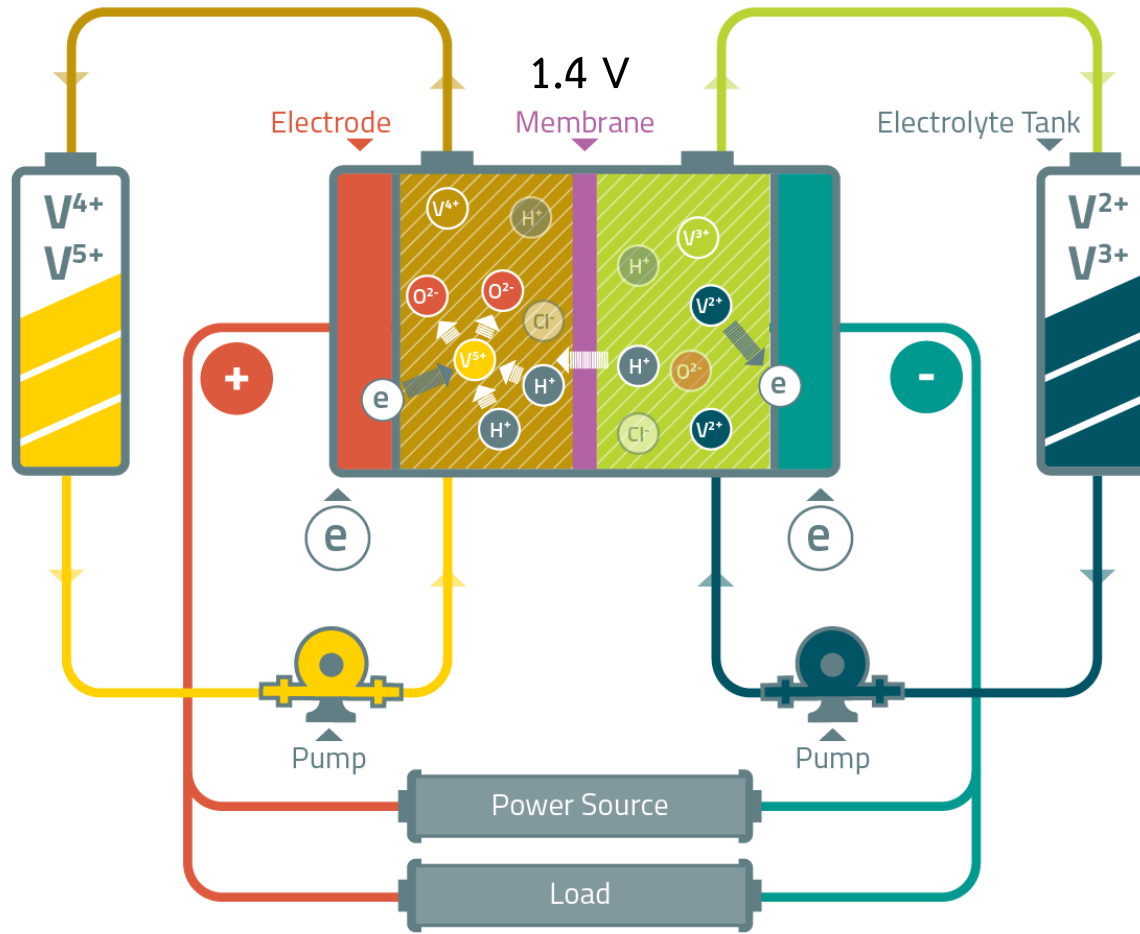
- **Chemistry:** Liquid Na (-), liquid S (+), Solid ceramic as the Na<sup>+</sup> conducting electrolyte
- **Features**
  - + High-energy density
  - + Raw material inexpensive
  - + High cycle life
  - Production cost
- High operating temperature, > 300 °C
- (to maintain the electrodes in the liquid state)
- No self-discharge
- Sodium and sulfur are relatively abundant
- Long duration but slow start up and shut down time
- Employed world wide by NGK



# Redox Flow Batteries (RFB)

Types of RFB system	Positive Findings	Negative Findings
Zinc/Bromide	<ul style="list-style-type: none"><li>• High cell voltage (1.8V)</li><li>• Good reversibility</li><li>• Low material costs</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Br<sub>2</sub> is toxic gas</li><li>• Material corrosion</li><li>• Short cycle life</li></ul>
Vanadium	<ul style="list-style-type: none"><li>• Most successful RFB</li><li>• Same metal in both cathodic and anodic electrolytes</li><li>• Longer life span</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Energy density limited by solubility of vanadium leading to precipitates</li></ul>

# Vanadium Redox Flow Batteries

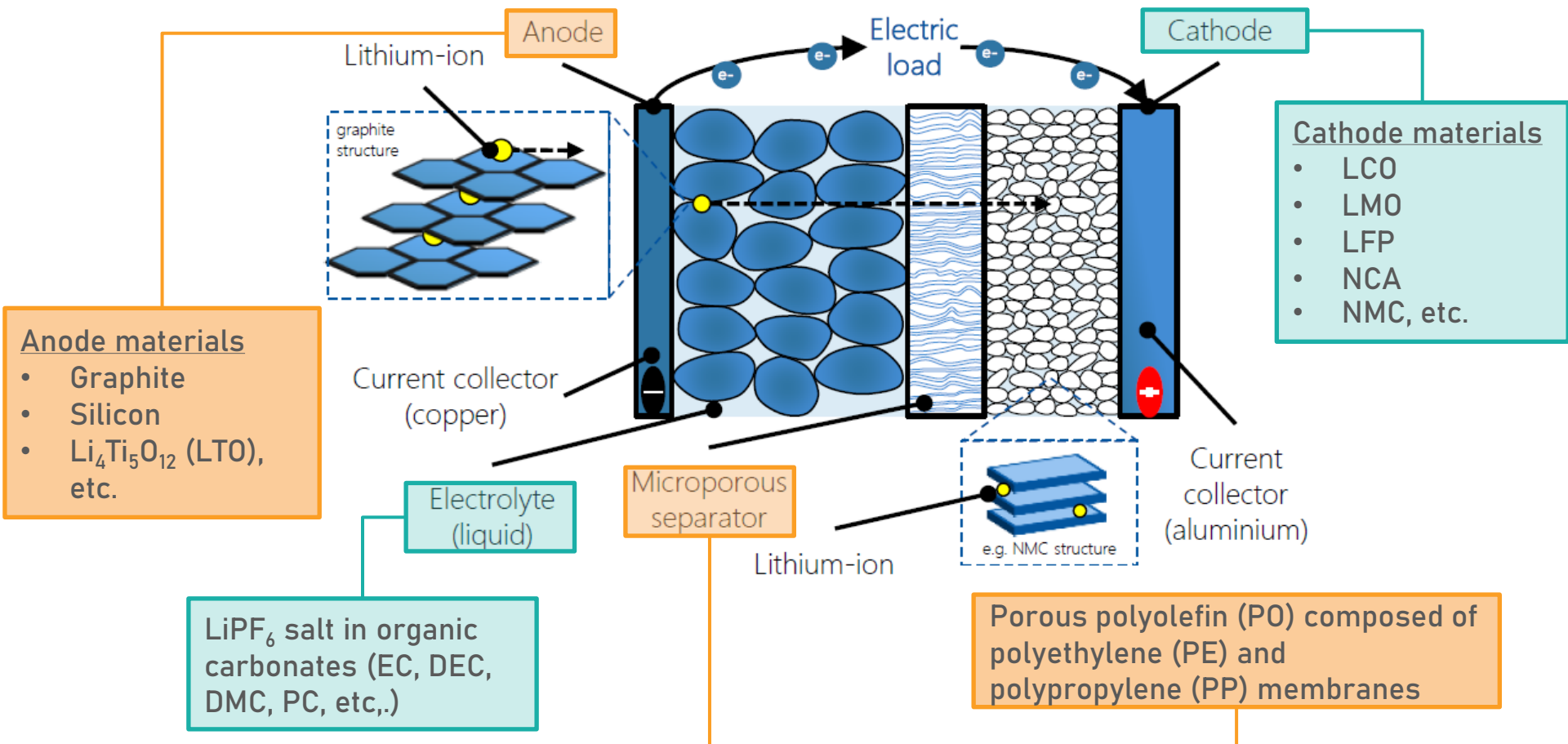


# Vanadium Redox Flow Batteries

- Chemistry: Vanadium
- Features
  - + Long service life
  - + No self-discharge
  - Low power density
  - Many system requirements
- Capable of 10,000 cycle life with minimal degradation >20 year life
- Power and energy independent
- Safety (Ambient temperature, non-flammable, zero emissions)
- No contamination (Electrolytes are stored in separated storage tanks)

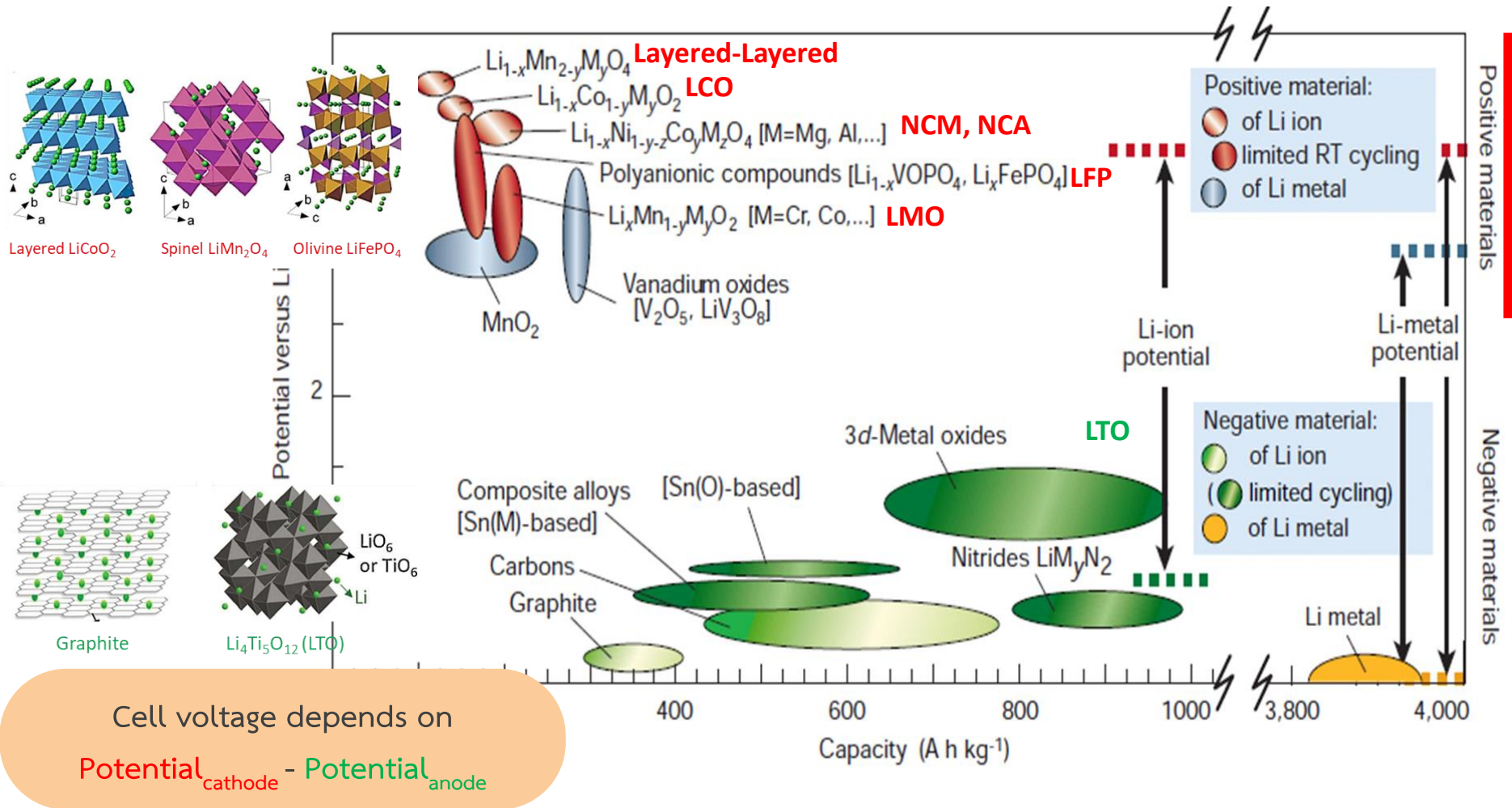


# Lithium Ion Batteries

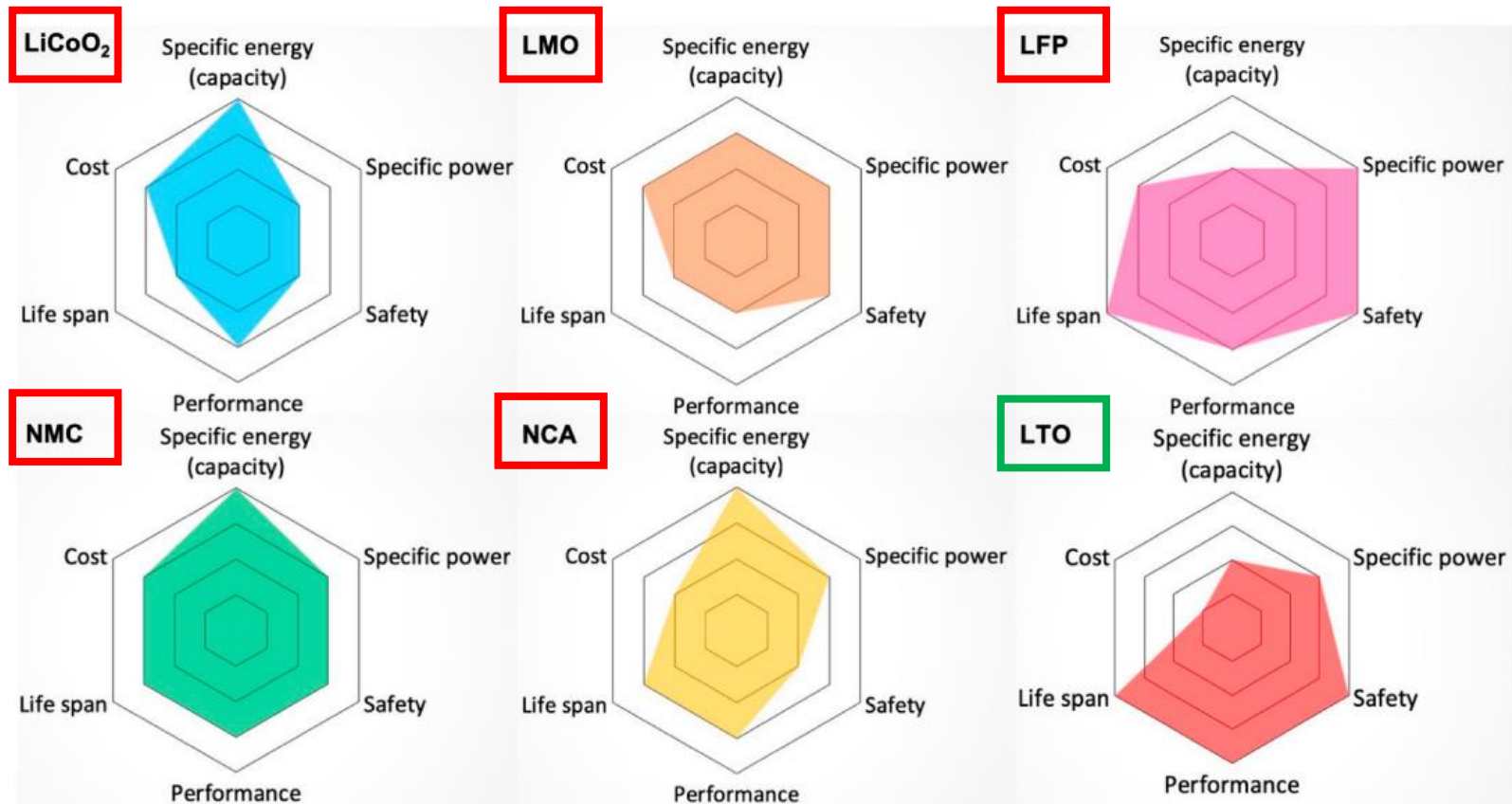




# Type of Lithium Ion Batteries by Materials



# Type of Lithium Ion Batteries by Materials



# Type of Lithium Ion Batteries by Materials

## LFP Strength

- Cost
- Safety
- Lifetime
- Abundance of iron

S

## NMC Strength

- Energy density
- Low temperature performance
- Power

## LFP Weakness

- Weight
- Energy density
- Low temperature performance
- Power

W

## NMC Weakness

- Cost
- Safety
- Ni/Co supply chain
- Lifetime

## LFP Opportunity

- Low/mid-range/entry EVs
- e-Bus, e-Bicycle
- Stationary storage
- Cost sensitive applications

O

## NMC Opportunity

- Long range/high-end EVs
- Stationary storage
- e-Bus, e-Bicycle, e-Motor
- Power tools / performance sensitive applications

## LFP Threat

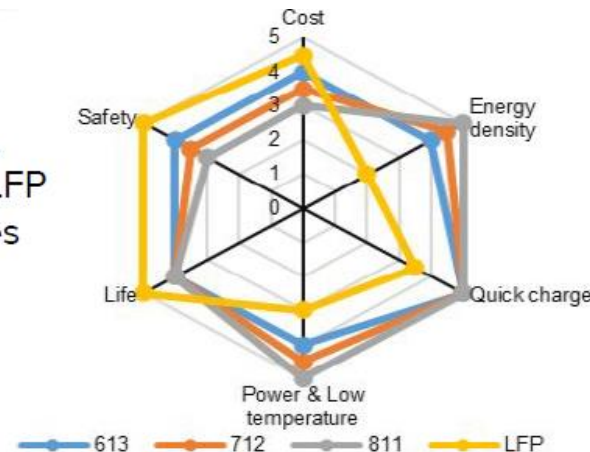
- NMC/high-voltage LNMO
- Na-ion Battery
- Regulations on energy density
- Increasing material cost

T

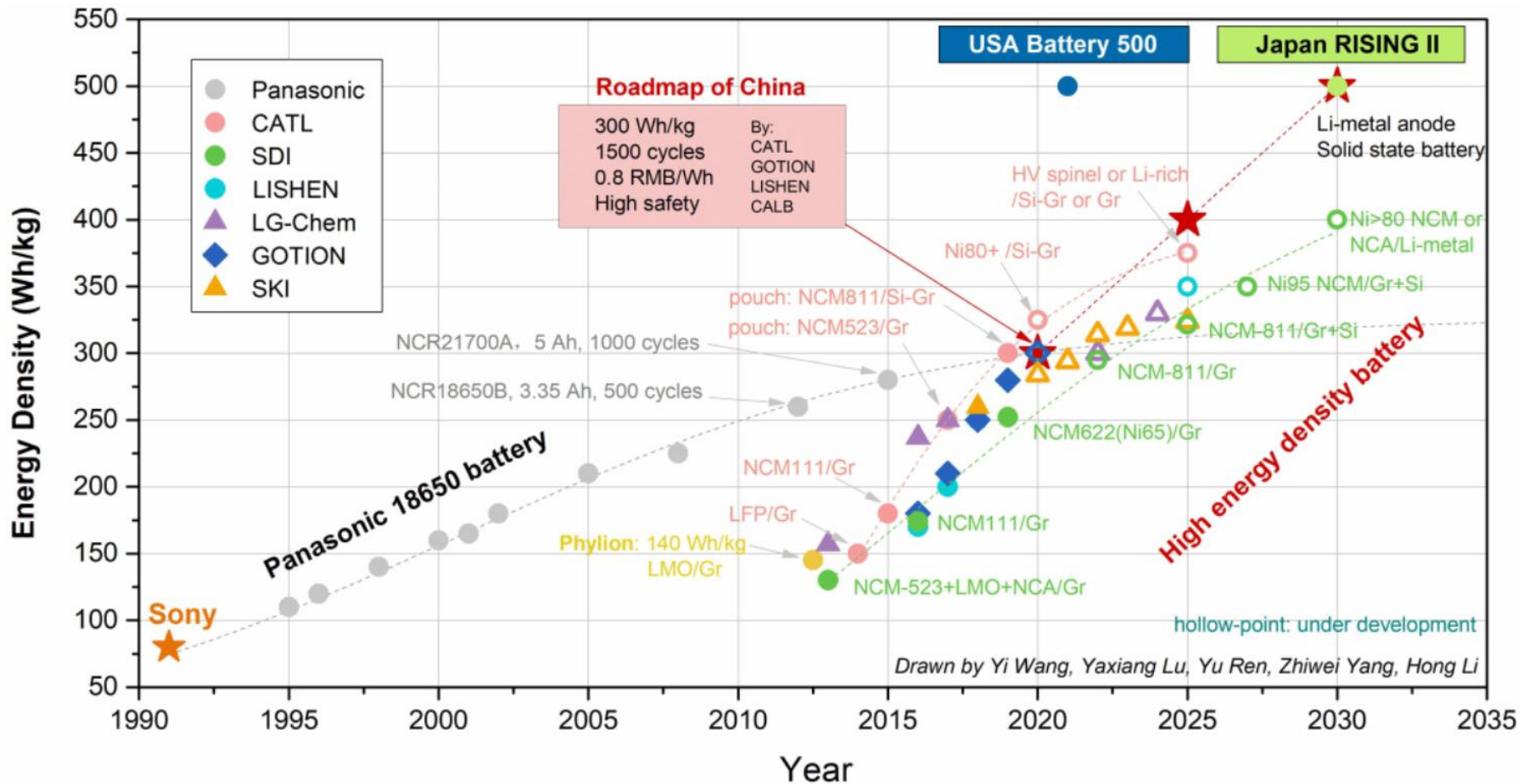
## NMC Threat

- LFP/high-voltage spinel LNMO
- Regulations on thermal propagation
- Increasing raw material cost

Given the same cell dimensions, cell performance metrics using LFP and high nickel NMC as cathodes



# Lithium Ion Batteries Trend



## Energy Density Achieved on the Road:

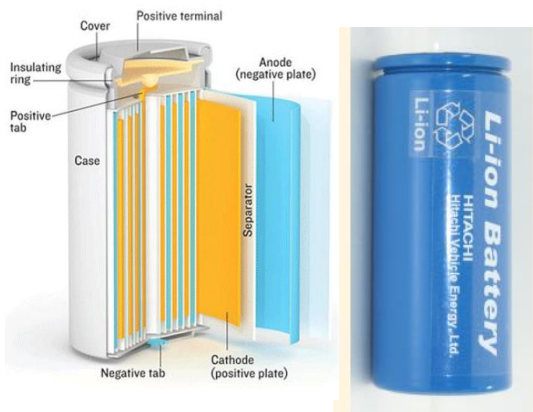
CATL: 279.56 Wh/kg (Leap Motor T03)  
 SKI: 269.44 Wh/kg (Arcfox Alpha-T)  
 LG-Chem: 257.10 Wh/kg (Tesla Model 3)

## USA Battery 500:

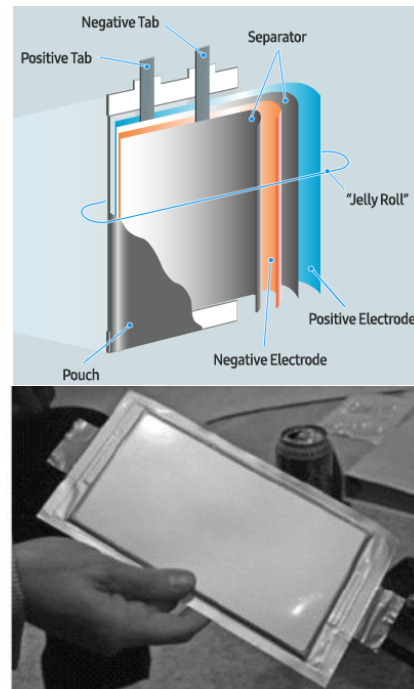
350 Wh/kg, 350 cycles  
 (Li/NMC 622 Pouch Cell)

# Type of Lithium Ion Batteries by Appearance

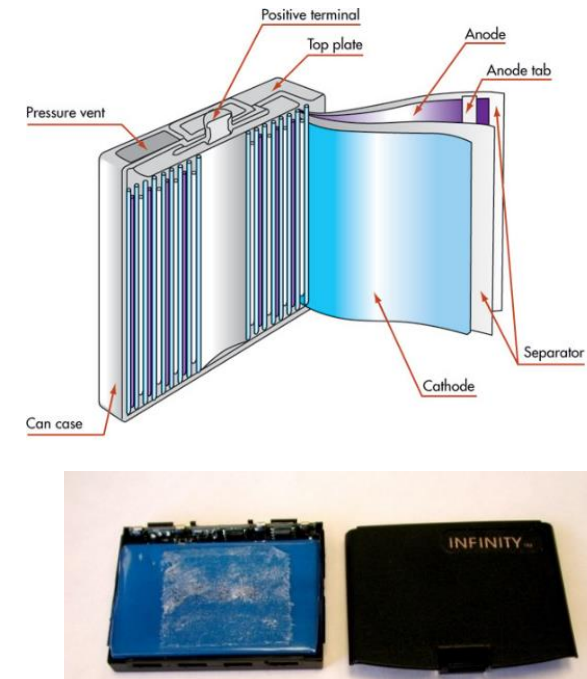
## Cylindrical



## Pouch

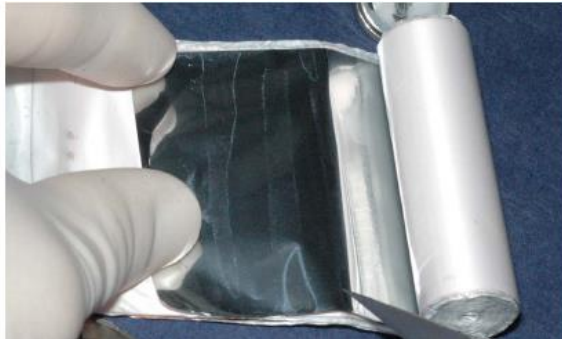


## Prismatic



# Type of Lithium Ion Batteries by Appearance

## Cylindrical



- 😊 รูปทรงมาตรฐานทั่วไป
- 😊 มีความคงทนสูง
- 😊 อายุการใช้งานยาวนาน
- 😊 ทนต่อความดันในเซลล์ได้ดี
- 😞 ไม่มีประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่
- 😞 มีค่าความจุพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ

## Pouch



- 😊 เบา
- 😊 ราคาในการผลิตต่ำ
- 😊 ออกแบบแพ็คเกจได้หลายหลายรูปแบบ
- 😞 เสี่ยงที่เจอกับความชื้นในบรรยากาศ
- 😞 อายุการใช้งานต่ำ ที่อุณหภูมิสูง
- 😞 ต้องออกแบบแพ็คเกจเพื่อการบวมของเซลล์

## Prismatic



- 😊 ใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 😊 ออกแบบแพ็คเกจได้หลายหลายรูปแบบ
- 😞 ราคาในการผลิตสูง
- 😞 จัดการความร้อนได้ยาก
- 😞 อายุการใช้งานต่ำ

# Comparison between Secondary Batteries

Long usage hrs



Power

Properties	Lead-Acid	Ni-MH	Li-ion	Na-S	VRB
Wh/kg	25-55	60-125	75-200	100-250	15-50
Wh/L	60-110	180-310	200-500	150-300	20-70
W/kg	100-150	200	75-2400	150-230	-
% dis./month	6-8	15-20	<2%	-	-
V	2	1.32-1.35	3.3-3.7	2.1	1.2-1.6
Cycle life	200-500	600-1,000	500-10,000	2500-4500	>10,000
Cost (\$/kWh)	100-150	300-400	500-2500*	600	650

# Next Generation Batteries



## BATTERY 2030+ TRANSFORMATIONAL CHEMISTRY-NEUTRAL RESEARCH:

- Accelerated battery material discovery & interface engineering
- Smart sensing & self-healing functionalities
- Cell design & manufacturability (cross-cutting)
- Recyclability (cross-cutting)

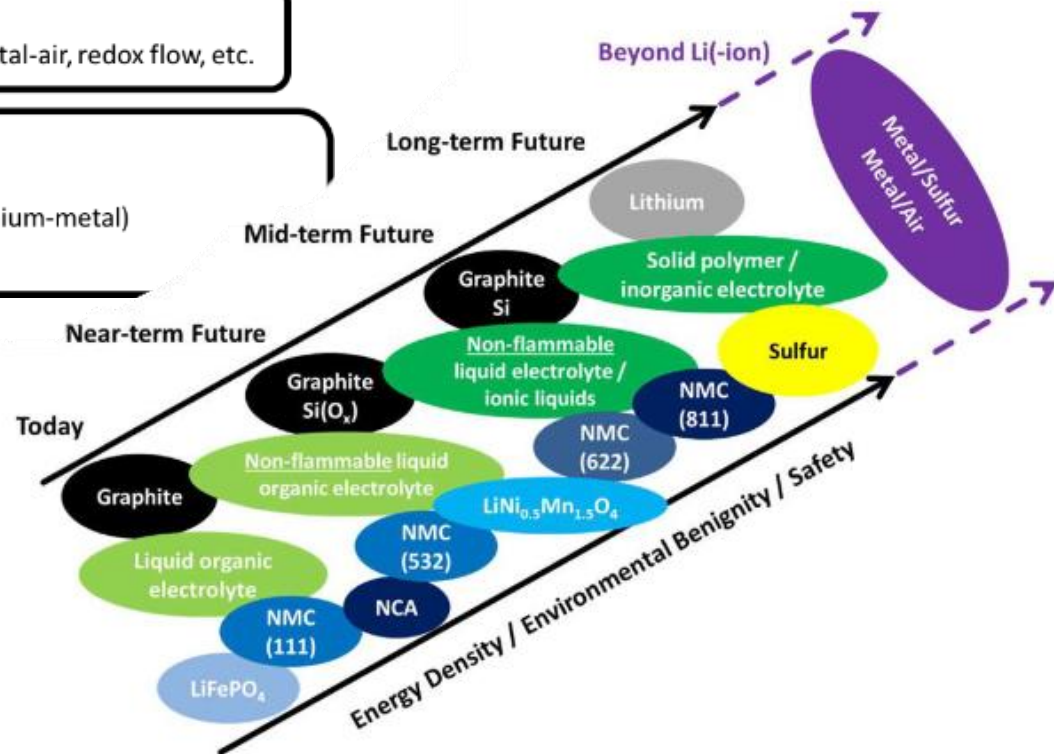
### FUTURE BATTERY CHEMISTRIES

#### POST-LITHIUM BATTERY CHEMISTRIES

Sodium-ion, multivalent metal-ion, metal-air, redox flow, etc.

#### LITHIUM BATTERY CHEMISTRIES

Gen 5 (lithium-air, lithium-sulfur)  
Gen 4 (all-solid-state lithium-ion or lithium-metal)  
Gen 3 (advanced lithium-ion)





# Contact us



## Energy Storage Technology Team

National Energy Technology Center (ENTEC)

114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road

Khlong Nueng, Khlong Luang

Pathum Thani , Thailand



E-mail: [thanya.phr@entec.or.th](mailto:thanya.phr@entec.or.th)



Tel. +662 564 6500 ext. 4245



Website: [www.entec.or.th](http://www.entec.or.th)