



- (21) 申請案號：106143427 (22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 11 日
- (51) Int. Cl. : **G01R31/36 (2006.01)** **G01R23/00 (2006.01)**
- (30) 優先權：2016/12/09 美國 62/432,296  
 2016/12/09 美國 62/432,312  
 2017/12/08 美國 15/836,531
- (71) 申請人：美商費賽普公司 (美國) FEASIBLE, INC. (US)  
 美國
- (72) 發明人：謝 安德魯 加希姆 HSIEH, ANDREW GAHEEM (US)；凡 泰薩爾 貝瑞 詹姆士 VAN TASSELL, BARRY JAMES (US)；摩爾 羅伯特 查爾斯 MOHR, ROBERT CHARLES (US)；威爾金森 安 WILKINSON, ANNE (US)；A J O 法蘭克林 強納生 AJO-FRANKLIN, JONATHAN (US)；比斯瓦司 蕭爾喬 BISWAS, SHAURJO (IN)
- (74) 代理人：陳長文
- 申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：5 共 39 頁

## (54) 名稱

用於判定電池物理情況之非線性聲音共振頻譜(NARS)

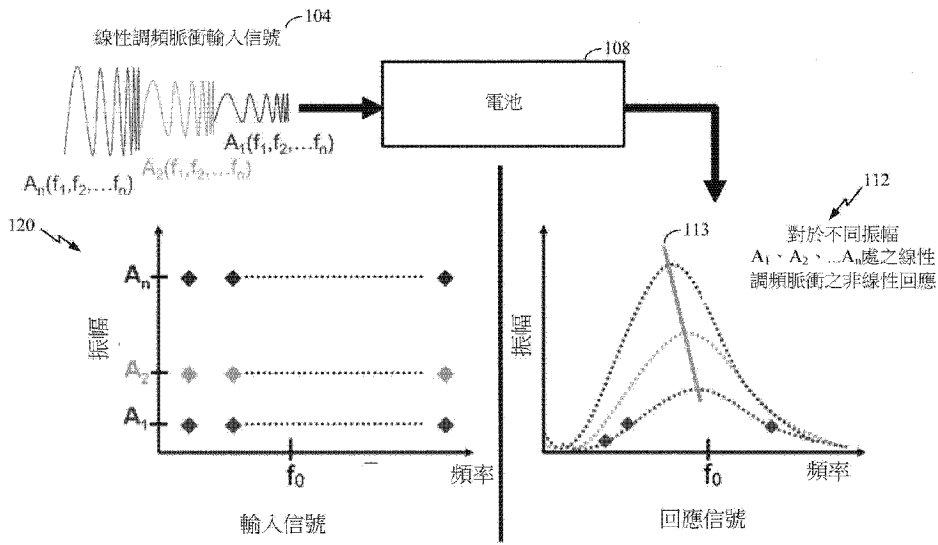
NONLINEAR ACOUSTIC RESONANCE SPECTROSCOPY (NARS) FOR DETERMINING PHYSICAL CONDITIONS OF BATTERIES

## (57) 摘要

判定一電池之物理情況(諸如電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態)之系統及方法包含：將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至該電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；及基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動。自經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性。使用非線性聲音共振頻譜(NARS)或非線性共振超音波頻譜(NRUS)至少部分地基於非線性回應特性而判定該電池之物理情況。

Systems and methods of determining physical conditions of a battery, such as state of charge (SOC), state of health (SOH), quality of construction, defect, or failure state include driving two or more acoustic signals of two or more amplitudes, each acoustic signal having two or more frequencies, into the battery and detecting vibrations generated in the battery based on the two or more acoustic signals. Nonlinear response characteristics of the battery for the two or more acoustic signals are determined from the detected vibrations. The physical conditions of the battery are determined based at least in part on the nonlinear response characteristics, using nonlinear acoustic resonance spectroscopy (NARS) or nonlinear resonant ultrasound spectroscopy (NRUS).

指定代表圖：



【圖5A】

符號簡單說明：

104 . . . 輸入信號

108 . . . 電池

112 . . . 量測頻譜

113 . . . 共振頻率

120 . . . 曲線圖

$A_1$  至  $A_n$  . . . 振幅

$f_0$  至  $f_n$  . . . 頻率

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

用於判定電池物理情況之非線性聲音共振頻譜(NARS)

### 【英文發明名稱】

NONLINEAR ACOUSTIC RESONANCE SPECTROSCOPY (NARS)  
FOR DETERMINING PHYSICAL CONDITIONS OF BATTERIES

### 【技術領域】

所揭示之態樣係針對判定電池之物理情況。更具體而言，例示性態樣係針對基於研究電池對於各種頻率及振幅之聲音信號之非線性回應特性之用於判定電池物理情況的非線性聲音共振頻譜(NARS)(諸如非線性共振超音波頻譜(NRUS))。

### 【先前技術】

電池工業一般缺乏用於在電池之製造及使用之各種階段中(例如在研究及開發、測試、生產、鉗台裝配及製造後及密封期間)判定電池之物理情況之一快速及可調整解決方案。用於診斷一電池之物理情況之當前技術(例如採用按比例)受限於電氣及熱技術，其等經辨識為當電池在使用時不準確、具破壞性的及/或不適合於電池診斷。經辨識出的需要為可調整及非破壞性診斷技術以以一可告知一電池之物理情況之進一步分析的方式準確地監測及評估該電池之內部狀態(包含判定電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態及該電池之其他物理性質之能力)。

用於電池診斷之當前技術可取決於其中電池在測試下之具體設定。例如，交流電(AC)阻抗頻譜及高精確度電量分析可用於研究設定中，儘管在一些情況中，亦可使用諸如高功率同步加速器x射線繞射(XRD)及x射

線電腦斷層攝影(CT)之其他技術。在製造環境中，上述研究級技術可連同諸如直流電(DC)阻抗量測之電氣量測一起使用以計量內部電阻及初始充電循環以計量容量，但此等技術會受限於現場抽查。對測試下之一電池之每個單元執行之診斷測試可受限於簡單電氣及物理量測(例如開路電壓)。

由於XRD及CT之異常，上述技術依靠施加於測試下之電池之電流，其可對電池造成破壞。然而，XRD及CT技術之一缺點係該等技術之生產規模極其緩慢及昂貴。

可用於偵測或監測電池之物理情況之既有電池診斷方法整合成電子器件、電動車、電網級能量儲存系統等等)通常受限於使用電氣工具或熱感測進行之分析。然而，此等既有診斷方法易於不準確，因為此等方法提供整個電池之平均資料且無助於電池之內部組件、缺陷、成分分佈之一更詳細理解。

相應地，存在不依靠電氣工具之用於判定電池之物理情況之替代方法之新研究。據此而言，吾人認識到電池以化學勢之形式儲存能量，其中在該能量之儲存及釋放期間(即分別在電池之充電及放電循環期間)，發生導致質量之一重組及電池之材料性質(包含密度、模數、孔隙度及厚度)之一改變之化學反應。亦已知一材料中之聲音之行為基本上對性質之此等改變敏感。更具體而言，聲音透過一材料之速度主要係該材料之彈性模數及密度之一函數。再者，一材料之聲音阻抗(如同光之折射率，其影響進入及離開一材料時聲音之行為)亦係密度及模數之一強函數。因此，可能研究及分析通過材料之聲波(或測試下之一樣本)以偵測材料(或樣本)之性質之改變，其繼而可提供關於材料(或樣本)之物理情況之資訊。用於使用聲

波探測一電池之既有方法未經視為足夠準確，亦未提供可用於判定SOH、SOC、故障之可能性、局部化缺陷等等之細節程度，無論電池是否在使用中。

相應地，當電池經部署且使用中或當電池不在使用中時，在工業中需要辨識偵測電池中之物理品質、缺陷及故障條件之一更廣泛範疇。

### 【發明內容】

本發明之態樣係針對判定電池之一或多個物理情況之系統及方法。例示性態樣包含非線性共振超音波頻譜(NRUS)或更一般而言，一電池或其樣本之非線性聲音共振頻譜(NARS)。在實例性實施方案中，具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動(例如藉由將電氣信號轉換為振動之驅動傳感器或用於將聲音信號驅動至該電池中之其他構件)至該電池中，各聲音信號具有一或多個頻率。來自該兩個或兩個以上聲音信號之電池中之所得振動由接收傳感器或用於偵測振動之其他構件偵測。獲得(例如藉由)研究所得振動之頻率特性(例如基於一傅立葉(Fourier)轉換)而獲得該兩個或兩個以上聲音信號之兩個或兩個以上共振頻率。觀察電池之共振頻率以基於聲音信號之振幅而偏移(例如依循一特定斜率或曲線)。電池中之彈性非線性(例如由與電荷狀態(SoC)、健康狀態(SoH)、缺陷、構造品質或故障狀態有關之不同物理情況引起)導致共振頻率中之偏移(例如其斜率弧曲線)之改變。可基於該兩個或兩個以上共振頻率之間的一斜率或曲線而判定至少部分地基於非線性回應特性之電池之該一或多個物理情況。藉由研究兩個或兩個以上電池或相同電池之兩個或兩個以上樣本之共振頻率之偏移，可獲得關於電池之物理情況資訊。

例如，一例示性態樣係針對一種判定一電池之一或多個物理情況之

方法，該方法包括：將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至該電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；及基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動。自經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性。至少部分地基於非線性回應特性而判定該電池之一或多個物理情況。

另一例示性態樣係針對一種裝置，其包括：構件，其用於將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至一電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；及構件，其用於基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動。該裝置進一步包括：構件，其用於自經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性；及構件，其用於至少部分地基於非線性回應特性而判定該電池之一或多個物理情況。

#### 【圖式簡單說明】

呈現附圖以助於描述本發明之各種態樣且僅為了繪示而提供且不具限制性。

圖1A至圖1B繪示電池之非線性聲音共振頻譜(NARS)之一實例性系統之視圖。

圖2A至圖2C繪示用於使用非線性聲音共振頻譜(NARS)探測電池之不同彎曲或激發模式之各種傳感器配置之實例。

圖3繪示根據本發明之態樣之使用非線性聲音共振頻譜(NARS)偵測一電池之一或多個物理情況之一方法的一流程圖。

圖4A至圖4J繪示根據本發明之態樣之可用於進行一電池之非線性聲音共振頻譜(NARS)之實例性聲音信號之波形。

圖5A至圖5B繪示根據本發明之態樣之進行一或多個電池之非線性聲音共振頻譜(NARS)之例示性結果。

### 【實施方式】

#### 相關申請案之交叉參考

本專利申請案主張2016年12月9日申請之名稱為「APPARATUS AND METHOD FOR DETERMINING THE PHYSICAL CONDITION OF BATTERIES WITH RESONANT ULTRASOUND SPECTROSCOPY」之待審臨時專利申請案第62/432,296號之權利且亦主張2016年12月9日申請之名稱為「APPARATUS AND METHOD FOR DETERMINING THE PHYSICAL CONDITION OF BATTERIES WITH ACOUSTIC CHIRP SIGNALS」之待審臨時專利申請案第62/432,312號之權利，該等申請案之各者之全部內容受讓於其受讓人且特此明確以引用的方式併入本文中。

針對本發明之具體態樣之以下描述及相關圖式中揭示本發明之態樣。可在不背離本發明之範疇之情況下擬出替代態樣。另外，本發明之熟知元件將不詳細描述或將省略以不致使本發明之相關細節變得模糊。

字語「例示性」在本文中用於意謂「充當一實例、例項或繪示」。本文描述為「例示性」之任何態樣不必要解釋為優於其他態樣或比其他態樣有利。同樣地，術語「本發明之態樣」不要求本發明之所有態樣包含所討論之特徵、優點或操作模式。

本文所使用之術語僅為了描述特定態樣且不意欲限制本發明之態樣。如本文所使用，除非內文另有明確指示，否則單數形式「一」及「該」亦意欲包含複數形式。應進一步瞭解術語「包括」及/或「包含」

在本文中使用时指定存在所述特徵、整體、步驟、操作、元件及/或組件，但不排除存在或新增一或多個其他特徵、整體、步驟、操作、元件、組件及/或其等之群組。

此外，就待由(例如)一計算器件之元件執行之動作之序列而言，描述許多態樣。吾人應認識到本文所描述之各種動作可由特定電路(例如應用特定積體電路(ASIC))執行、由一或多個處理器執行之程式指令執行或由特定電路及程式指令兩者之一組合執行。另外，本文所描述之動作之此等序列可視為完全體現於具有儲存於其中之一組對應電腦指令之任何形式之電腦可讀儲存媒體內，在執行之後，該組對應電腦指令將引起一相關聯之處理器執行本文所描述之功能性。因此，本發明之各種態樣可以若干不同形式體現，已預期所有形式在所主張之標的之範疇內。另外，就本文所描述之態樣之各者而言，任何此等態樣之對應形式可在本文中描述為(例如)「經構形以執行所描述之動作之邏輯」。

如先前所提及，存在新努力以利用上文所描述之行進透過一物件之聲波與該物件之物理性質之間的關係，且使用聲音及聲學收集關於電化學電池及電池之內部組件之實體資訊。具體而言，聲波可輸入至一電池中(或更一般而言，可包含一或多個電池或電池之部分之測試下之一物件或樣本)，且接著，當輸入聲波行進穿過樣本時，聲音或振動回應可被量測。樣本之物理性質中之少量改變或差異可由此等技術導致對量測波形之改變。

為了解釋，聲波以局部化壓力改變或振動之形式透過一材料傳播。該材料之局部化壓力之增加可導致局部溫度之對應增加。熟知的係聲音之速度隨溫度增加。因此，聲音之局部速度隨局部溫度之增加而增加。若聲波由具有不同頻率之聲音信號(例如具有不同振盪頻率之正弦波形)表示，

則不同頻率可對介質之材料性質具有不同影響。

藉由將具有不同頻率之聲波引入材料中，可獲得不同頻率之材料或材料之樣本之回應特性。回應特性可揭露關於各樣本獨有之諧波或共振頻率之資訊。因此，具有寬頻內容之輸入聲音信號可用於推斷關於聲音信號通過其之材料或材料之樣本之多種資訊，其中資訊可基於諸如樣本之特徵大小、層厚度、孔隙度、固相率等等之屬性而改變。藉由研究材料對於不同激發頻率之回應特性來分析材料之此等技術指稱聲音共振頻譜(ARS)。當用於探測材料之聲音信號之頻率在超音波範圍中時，上述技術係更具體而言指稱共振超音波頻譜(RUS)。在ARS/RUS中，聲音信號調變為待用於診斷諸如電池或電池之組件之材料之頻率的一所要範圍。

自一材料或材料之樣本之ARS/RUS獲得之此資訊經辨識為不同於可藉由僅透過樣本研究單一、窄頻帶寬輸入聲音信號之飛行時間(ToF)回應而獲得之聲音ToF量測。具體而言，在關於電池之材料或材料之樣本之情況中，一電池之組件可歸因於包含多孔彈性效應及黏彈性效應之多種微結構機制而係分散性(例如展現頻率相依模數)。因此，使用藉由使具有一頻譜或頻率範圍之聲音信號通過電池及判定電池之共振頻率而獲得之ARS/RUS電池之頻率相依性質之量測被視為在工業中 useful。

然而，儘管可使用具有變化頻率成分之輸入聲音信號執行電池之習知ARS/RUS，但ARS/RUS中所使用之此等聲音信號通常被視為在時域中具有均勻振幅(例如用於探測電池之聲音信號之該兩個或兩個以上頻率在相同驅動電壓處產生以引起聲音信號之振幅、功率、應變等等之均勻特性)。吾人在本文中應認識到使用具有均勻振幅之聲音信號之習知ARS/RUS之直接應用於電池診斷存在固有限制。為了解釋，即使諸如

RUS之技術係熟知且習知地用於諸如地球物理學及用於探測所關注之物件之物理性質之材料科學之領域中，RUS分析在經分析之電池係具有各種層(例如電極層、分離器、電解質等等)之電池時仍係複雜的，其等具有高阻尼係數及高非彈性行為。具有非均質特性及厚度之此等不同層引起聲波透過電池不均勻分散。使用具有均勻振幅之聲音信號之習知ARS/RUS分析不能夠揭露關於電池中之此等非均質特性或非線性之準確資訊。另外，在充電/放電循環期間產生之微缺陷可能增加呈現於電池中之聲音非線性之程度。

為了解決ARS/RUS之習知實施方案中之上述限制，本文所揭示之例示性態樣包含用於藉由使用具有變化頻率成分聲音信號且亦改變用於探測電池之振幅而準確分析甚至係電池之非線性及非均質特性之技術。例如，將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號作為輸入提供至測試下之電池或樣本，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率。研究基於來自該兩個或兩個以上聲音信號之電池中之所得振動之回應特性以判定諧波或共振頻率(例如藉由對回應特性執行一傅立葉轉換或快速傅立葉轉換(FFT))。吾人認識到具有不同振幅之聲波將產生不同內部應變場。接著，電池之(一)非線性彈性性質將產生應變相依模數以導致具有不同振幅之聲音信號之回應特性之間的共振頻率中之偏移。研究此等偏移(例如偏移之斜率或曲線)揭露關於非線性性質之資訊。使用具有變化振幅之聲音信號執行之上述聲音分析指稱一非線性聲音共振頻譜(NARS)或更具體而言，當聲音信號之頻率在超音波範圍中時，指稱非線性共振超音波頻譜(NRUS)。

相應地，在例示性態樣中，揭示電池之NARS/NRUS，其中用於電池之非破壞性診斷之基於聲音共振之技術用於研究由(例如)電池中之內部缺

陷、損壞、非均勻降級、電荷狀態、成分之改變等等引起局部改變之非線性行為。可依據由聲音信號引起之激發量值或振幅之位準研究測試下之電池之共振頻率，因為當激發位準增加時，材料之彈性非線性可引起電池之共振頻率中之對應偏移。非線性回應中之量測改變觀察為比線性模數中之改變敏感。如先前所提及，諸如電池之兩個或兩個以上複合材料系統可裝配以在使用依一特定振幅之一寬頻範圍輸入信號激發時產生類似共振頻率，但將在歸因於複合材料系統之非線性彈性性質而使用依多個振幅之相同寬頻帶輸入頻率激發時顯示共振頻率中之不同偏移。因此，藉由使用諸如NARS/NRUS之技術而達成電池之一更準確及詳細分析。

應瞭解參考本發明中之「電池」不假定任何固有受限於任何特定類型之電池或電池之組件單元但一般意謂涵蓋任何類型之電化學能量儲存器件，包含(例如)單一單元電池以及多單元總成(諸如單元串、模組、電池組等等)。

圖1A至圖1B繪示可經構形以執行一物件之NARS/NRUS分析之實例性系統之不同視圖。通常，可藉由使用具有多個頻率(例如kHz至MHz範圍中之可聽或超音波頻率)及變化振幅之輸入聲音信號機械地激發或干擾(即振動)電池108而對所關注之一物件(諸如電池108 (其可替代地指稱測試下之一電池，測試下之物件、樣本等等))執行例示性NARS/NRUS分析。可研究回應於依不同頻率之機械干擾之電池108中所產生之振動。用於主動致動之構件(諸如壓電傳感器、振動馬達、搖動台等等)可用於將呈具有變化振幅入聲音信號之形式之干擾驅動至電池108中，其中輸入聲音信號具有頻率之一範圍或頻譜。電池108之被動致動亦可因環境中之周圍振動(其可引起具有待在電池108中誘發之變化振幅及頻率之聲音信號)而發生

且例示性NARS/NRUS技術可源自此被動致動而在不偏離本發明之範疇之情況下擴展至研究電池108之回應特性。不管其中引起電池108振動之特定方式，可使用壓電傳感器、加速計、雷射器等等偵測所得回應振動。藉由收集及研究對於各種頻率處之振動之回應，可獲得不同振幅之非線性回應特性且具體而言，共振頻率。不同振幅處之回應特性可揭露不同振幅處之各種激發頻率之機械干擾之非線性機械阻尼或衰減。

進一步詳細地，圖1A展示根據例示性態樣構形之系統100之一示意圖，而圖1B展示系統100之示意圖之一實例性實施方案。

現參考圖1A中之系統100之示意圖，系統100展示為包括電池108，可使用例示性NARS/NRUS分析診斷其物理情況。驅動傳感器106及接收傳感器110分別繪示為耦合至電池108（可使用耦合劑以有助於傳感器及電池108之各自表面之接觸或機械耦合，但非強制要求）。

驅動傳感器106及接收傳感器110相對於電池108之不同配置或相對放置係可行的且此等參考圖2A至圖2C更詳細解釋。不同配置可揭露關於電池108之不同彎曲或激發模式之資訊。在圖1A之繪示中，電池108展示為一矩形單元，其中驅動傳感器106及接收傳感器110放置於相對邊緣上（例如亦如圖2A中所展示）。圖1A中所展示之此配置可導致電池108之矩形單元實例之最大數目個激發模式，此係由於在此配置中，聲音信號透過驅動傳感器106與接收傳感器110之間的電池108橫穿最大距離。其他配置（例如圖2B至圖2C）可導致電池108之不同及/或不同數目個激發模式且可結合或替代圖1A中所繪示之實例性配置利用。在替代配置中，亦可能將驅動傳感器106及接收傳感器110兩者安置於電池108之相同側上或構形相同傳感器（或用於誘發一電池中之振動及量測對此等振動之回應之其他構件）以

執行兩個功能。振動經驅動之相同側上之回應之量測可揭露結合或替代量測之有用資訊，其中驅動傳感器106及接收傳感器110構形於電池108之相對側或邊緣上。

在一例示性態樣中，輸入信號104可為具有兩個或兩個以上頻率之一範圍之一聲音信號。輸入信號104之實例展示於圖4A至圖4J中且將在以下章節中更詳細解釋。控制單元102可經構形以產生對應於所要輸入信號104之電氣信號(例如根據圖4A至圖4J)。在一實例性實施方案中，控制單元102可包括諸如一示波器之信號產生構件以控制電氣信號之驅動電壓，其將控制輸入信號104之振幅。控制單元102亦可包括用於控制電氣信號之頻率成分之構件(諸如一任意信號產生器)以產生用於探測電池108之頻率之所要範圍中之電氣信號之頻率。

驅動傳感器106可將由輸入信號104表示之電氣信號轉換為通過電池108之聲音信號或聲波，其引起待在電池108中產生之機械干擾或回應振動。在替代實施方案中，驅動傳感器106可由用於產生振動之其他構件(諸如搖動台、模態激發器等等)替換或增加以基於輸入信號104而將聲波轉移至電池108中。更具體而言，驅動傳感器106之實例性實施方案可包含用於將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至電池108中之任何構件，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率。

因通過電池108之聲音信號而產生之振動回應可由接收傳感器110(其可替代地實施為一加速計或雷射器/光學測距儀)擷取以量測歸因於輸入信號104而引起之電池108之振動回應)。更具體而言，在實例性實施方案中，接收傳感器110可包含用於基於驅動至電池108中之該兩個或兩個以上聲音信號而偵測電池108中所產生之振動之任何構件。接收傳感器110

可將量測回應振動轉換為可針對頻率成分分析之電氣信號。

系統100可進一步包含用於自經偵測之振動判定該兩個或兩個以上聲音信號之電池108之非線性回應特性之構件。例如，可提供用於對對應於回應振動之信號執行一傅立葉轉換或FFT之構件。量測頻譜112表示一功能，諸如對依一特定振幅之輸入信號之頻率之一頻譜之回應振動之頻率成分執行之一FFT（例如所展示之量測頻譜112可對應於如圖4D至圖4E中所展示之一線性調頻脈衝信號之一FFT，其中輸入信號104可包含具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號，如圖4F中之線性升頻調頻脈衝信號系列中所展示）。就輸入信號104之一聲音信號之特定振幅而言，量測頻譜112可揭露共振頻率後峰值，其中尤其識別(例如)對應於電池108之最大或主要共振頻率之共振頻率113。就輸入信號104之聲音信號之不同振幅而言，量測頻譜112可改變。

系統100亦可包含用於至少部分地基於非線性回應特性而判定電池之一或多個物理情況之構件(例如資料儲存及處理器114)。例如，自由電池108中之聲音信號引起之回應振動產生之具有輸入信號104之各種振幅之聲音信號的量測頻譜112可於資料儲存及處理器114中分析及儲存等，各聲音信號具有變化頻率成分。自具有不同振幅之聲音信號之量測頻譜112中之共振頻率衍生之資訊與電池108之機械性質相關，如將參考圖5A至圖5B更詳細解釋。

如先前所提及，回應振動行為及因此量測頻譜112之共振頻率被視為取決於輸入信號104之振幅之量值(即輸入振動之應變值之量值)。回應頻率可歸因於電池108中之非線性(例如缺陷、非均勻性等等)而偏移，其達成分析中之一增加敏感度。因此，藉由改變形成輸入信號104之聲音信號

之振幅(聲音信號在一所要頻率範圍中(如在例示性NARS/NRUS中))，可準確地獲得關於基於非線性回應之電池108之機械性質之資訊，因為即使電池中之小特徵(諸如電極中之缺陷、粒子污染物、介面處之改變、對電池組件之損壞、破裂等等)可就不同振幅處引起之共振頻率中之偏移而言擷取。依此方式，NARS/NRUS可用於量測電池之SOC、SOH、物理性質及物理情況。

此外，在一些態樣中，電池108之電荷狀態可在NARS/NRUS分析之進程中改變。一完全充電狀態(或電荷頂部)處及一完全放電狀態(或電荷底部)處之電池108之共振頻譜可歸因於各充電/放電狀態處之電池內之模數及密度之分佈中之變動而不同。類似地，電池108之共振頻譜在其嶄新或已使用時可不同於已經受若干充電-放電循環(亦指稱電池經循環)之後之電池108之共振頻譜，即使當電池在相同電荷狀態處。相應地，在例示性態樣中，可結合用於透過充電-放電循環使電池循環之一充電週期計獲得電池108之共振頻譜。

現參考圖1B，除已參考圖1A中之系統100之示意圖討論之控制單元102、驅動傳感器106、電池108、接收傳感器110及資料儲存及處理器114之外，亦分別繪示系統100之額外組件(諸如電池週期計116及接收單元111)。電池週期計116可連接至電池108之導程以引起用於充電-放電循環內之電池108之RUS/ARS分析之電池108中之充電-放電循環。接收單元111可執行接收自待用於產生圖1A之量測頻譜112之接收傳感器110輸出之信號之功能，儘管接收單元之功能可在不偏離本發明之範疇之情況下合併為諸如資料儲存及處理器114之其他功能區塊。

現參考圖2A至圖2C，進一步詳細討論先前所提及之傳感器相對於使

用RUS/ARS技術分析之電池之本體之實例性配置。通常，可看見當由聲音信號透過電池自驅動傳感器至接收傳感器行進之距離增加時，聲音信號透過其之電池材料之激發模式或彎曲模式之數目增加。此等激發模式亦在聲音信號橫穿電池之不同方向上不同。因此，如圖2A至圖2C中所展示之不同配置或其類似者可揭露關於物件之不同橫截面之資訊，且此等配置之一或多者之一組合可用於獲得測試下之物件之機械性質之不同視圖或細節。

如圖2A中所展示，兩個傳感器(驅動傳感器206a及接收傳感器208a)附接至電池202 (矩形)或電池204 (圓柱形)之相對角。圖2A中之此配置可分別增強各自電池202或204之激發模式之數目。

如圖2B、圖2C中所見，各自驅動傳感器206b、206c及接收傳感器208b、208c可在橫向及縱向上附接至電池202 (矩形)或電池204 (圓柱形)之相對側。如圖中所展示，圖2B中之配置可導致各自電池202、204內之比圖2C中之配置多之激發模式。

在圖2A至圖2C之各種配置中，一聲音凝膠或彈性體耦合劑可用於改良各傳感器(206a至206c、208a至208c)之間的機械耦合及其與電池之接觸以改良聲音信號品質。使用耦合劑，傳感器可應用於所要量測位置處之電池。然而，就例示性RUS/ARS分析而言，不需要使用耦合劑。

參考圖3，圖中將闡釋分析測試下之一電池之物理情況之一例示性程序。圖3係一例示性方法300之程序步驟之一流程圖。

方法300可在區塊302處開始，其中就電池108之例示性NARS/NRUS分析而言，控制單元102可(例如)產生具有變化振幅之聲音信號之輸入信號104，其中各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率。圖4A至圖4J中展示可用作為輸入信號104之聲音信號波形之實例。

在區塊304中，耦合至測試下之一電池(例如電池108、202、204等等)的驅動傳感器(例如傳感器106、206a至206c等等)可經致動，以將具有兩個或兩個以上振幅的該兩個或兩個以上聲音信號基於輸入訊號104驅動(至電池108，以造成聲音信號之不同振幅的電池108中之非線性回應振動)，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率。

在區塊306中，接收傳感器(例如傳感器108、208a至208c等等或一加速計)可基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測電池108中所產生之振動(例如接收傳感器偵測回應非線性振動之頻率、振幅等等)。

區塊308包含自經偵測之振動判定該兩個或兩個以上聲音信號之電池108之非線性回應特性。例如，在區塊308中，具有非線性回應之頻率之一量測頻譜(例如量測頻譜112)可產生為經偵測之非線性回應振動之一函數(例如FFT)，其中量測頻譜可具有一或多個共振頻率(例如共振頻率113)。應瞭解輸入信號104中之聲音信號之不同振幅可導致具有不同共振頻率113之不同量測頻譜，如將參考圖5A至圖5B所闡釋。

區塊310包含至少部分地基於非線性回應特性而判定電池之一或多個物理情況。例如，在區塊310中，可分析對應於用於輸入信號104之聲音信號之不同振幅之量測頻譜之共振頻率以基於該一或多個共振頻率而判定一或多個物理情況(諸如一電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態之一或多者)。量測頻譜可視情況儲存於儲存媒體中。諸如資料儲存及處理器114之構件可經構形以分析及儲存量測頻譜。

如上文所述，在電池之共振頻率附近之頻率處，回應振動之振幅將較高。就相對於測試下之電池之驅動及接收傳感器之各種配置(例如如圖2A至圖2C中所展示)而言，方法300可重複以獲得形成電池之一完整回應

振動分佈曲線圖之一或多個量測頻譜。振動分佈曲線圖提供測試下之電池之共振頻率之一材料相依及結構相依映射。換言之，包括用於探測電池之聲音信號之不同振幅之共振頻率量測頻譜提供電池在量測期間所處之特定物理情況獨有之一指紋，但可與具有相同構造之電池之其他量測相比較。

現參考圖4A至圖4J，將更詳細討論輸入信號104之實例性波形。圖4A展示係時域中之短持續時間之一信號之一脈衝及一寬頻成分。儘管輸入信號104可產生作為一脈衝(如先前章節中所描述)，伴隨一較長暫停時間將聲音信號發送至電池中可允許電池之共振頻率(及對應機械性質之分析)之更容易偵測。具有如圖4B中所展示之變化振幅 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 等等之一系列脈衝可用作為形成上文所討論之輸入信號104之具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號，其中各聲音信號具有由一脈衝信號涵蓋之頻率之範圍。

圖4C展示可具有各種頻率及振幅之一白色雜訊信號。儘管一白色雜訊信號可表示具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號(各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率)，但使用一白色雜訊信號作為輸入信號104可導致NARS/NRUS中之無效率，因為無法控制振幅及頻率。具有不同振幅之兩個或兩個以上聲音信號但各聲音信號具有相同頻率成分可揭露關於由該兩個或兩個以上聲音信號引起之非線性回應振動之共振頻率中之偏移之有效資訊。相應地，以下章節描述具有涵蓋一期望範圍中之一全頻譜頻率(例如一全頻譜超音波頻率)之一組各種受控頻率之聲音信號，其中聲音信號之振幅可改變以獲得測試下之電池之一準確及完整分析。

圖4D至圖4E繪示係具有依一受控方式(例如單調(即增加或減少))隨時間改變之頻率之週期性(即正弦)波之線性調頻脈衝信號之信號波形。圖

4D至圖4E之線性調頻脈衝信號已繪示為具有均勻振幅，其中振幅可藉由(例如)控制驅動電壓而改變。線性調頻脈衝信號中之頻率改變可發生在上升(遞增頻率、遞減波長)或下降(遞減頻率、遞增波長)方向上。頻率中之此改變可為線性或非線性(例如諸如對數、指數等等之函數)。圖4D展示一線性升頻調頻脈衝信號，其係具有單調遞增頻率(增加係線性)之一線性調頻脈衝信號。圖4E展示一指數升頻調頻脈衝信號，其係單調遞增頻率(增加係指數)之一線性調頻脈衝信號。

圖4F展示圖4D中所展示之類型之一系列兩個或兩個以上線性升頻調頻脈衝信號，其中該兩個或兩個以上線性升頻調頻脈衝信號具有不同振幅 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 等等，但該兩個或兩個以上線性升頻調頻脈衝信號之各者具有兩個或兩個以上頻率之相同頻譜或範圍。圖4F中所展示之類型之一系列線性調頻脈衝信號(例如具有不同振幅之兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之系列，兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之各者係升頻/降頻線性/對數信號)可有利地用作為電池108之例示性NARS/NRUS中之輸入信號104，其將在圖5A至圖5B中進一步討論。

在替代實施方案中，具有變化振幅且涵蓋一頻率範圍之諸如圖4G至圖4J中所展示之線性調頻脈衝信號亦可用作為輸入信號104(儘管由於振幅及頻率之改變可係獨立的，因此振幅不需要呈相對於頻率之任何比例改變)。圖4G展示具有隨時間線性遞增頻率之一線性調頻脈衝信號(亦展示具有線性遞增振幅而不會損失一般性)；圖4H展示具有隨時間線性遞減頻率(具有線性遞減振幅)且指稱一線性降頻調頻脈衝之一類似波形；圖4I展示具有一隨時間指數遞增頻率(就遞增振幅而言)之一升頻調頻脈衝，且此波形特性指稱一指數升頻調頻脈衝；及圖4J展示具有隨時間指數遞減頻率或

一對數頻率特性(具有遞減振幅)且指稱一指數降頻調頻脈衝或對數降頻調頻脈衝之一類似波形。

儘管具有一單一頻率之輸入聲音信號可受限於如上文所討論之電池組件之分散本質，但已觀察到使用(例如)如圖4D至圖4J中所展示之線性調頻脈衝信號導致產生於輸入聲音信號中之一受控頻帶寬。相應地，即使在其中電池材料之激發可無效之情況中，頻率域中之輸入聲音信號之暫停時間可用於提供寬頻帶資訊。如吾人可辨識，使用線性調頻脈衝信號可有利地最小化在藉由避免需要重複輸入波形或量測長時間週期之回應振動之電池之診斷期間產生之熱。此係有利的，因為在方法300之進程中，電池內部之熱之一積累可歪曲量測或改變被觀察或檢驗之電池內之材料。再者，在頻率中非線性改變之線性調頻脈衝亦可針對線性調頻脈衝信號之驅動器(例如驅動傳感器106)及接收器(例如接收傳感器110)之特定回應特性而客製化及最佳化。聲音線性調頻脈衝之輸入頻率可在可聽(Hz-kHz)及超音波(kHz及以上)範圍中而不會損失一般性。

現參考圖5A至圖5B，圖中將討論使用NARS/NRUS技術之電池之例示性研究。從圖5A開始，輸入信號104展示為包括一系列線性調頻脈衝信號(諸如圖4F中所展示及上文所討論之該系列兩個或兩個以上線性升頻調頻脈衝)。該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號具有兩個或兩個以上對應振幅 $A_1$ 、 $A_2$ 、...、 $A_n$ ，但代表性地展示為 $f_1$ 、 $f_2$ 、... $f_n$ 之相同範圍之頻率。曲線圖120展示就該系列線性調頻脈衝信號之各者而言，振幅跨越不同頻率保持相同。

輸入信號104展示為提供至電池108，其中所得振動回應展示為量測頻譜112(其中已在圖5A中為了簡明而省略圖1A至圖1B所展示之此量測之

一例示性設定之各種其他細節)。如自量測頻譜112所觀察，基於輸入信號之振幅及頻率而改變電池108中引起之回應振動之振幅。更具體而言，共振頻率113被視為對於輸入線性調頻脈衝信號之不同振幅而不同。具有振幅 $A_1$ 之共振頻率113展示為發生於頻率 $f_0$ 處，但就此實例之具有較大振幅 $A_2$ 、...、 $A_n$ 之線性調頻脈衝信號而言，偏移至此頻率 $f_0$ 之左邊(記住共振頻率之偏移僅為了繪示而無需假定偏移之本質之任何固有要求或限制)。共振頻率之偏移可為電池108之非線性之一函數。藉由研究各種共振頻率之偏移，可獲得關於非線性之資訊。

例如，如圖5B中所展示，上文所討論之圖5A之輸入信號可用於探測兩個電池，電池A 108a及電池B 108b。在各種實施方案中，電池A 108a及電池B 108b可為不同電池，其中電池A 108a具有已知或基線性質而電池B 108b係一未知電池，其物理情況相對於電池A 108a來分析；或電池A 108a及電池B 108可為(例如)不同時間或不同電荷狀態處研究相同電池之不同版本或樣本。

電池A 108a及電池B 108b之NRUS回應信號分別展示為量測頻譜112a及112b而不會損失一般性。量測頻譜112a及112b展示為在各自共振頻率113a及113b中具有不同偏移。比較此等不同偏移(例如斜率或曲線)提供關於電池A 108a及電池B 108b之各自或相對物理情況之資訊。例如，分析頻率相依聲音資料之量測頻譜112a及112b可揭露關於電池A 108a及電池B 108b之內部組件(例如電極多孔性及扭曲度、分離器膜片滲透性、電解質黏滯性、黏彈性等等)之物理情況之資訊。

就各電池108而言，使用具有如圖1B中所展示之電池週期計116之系統100，圖5A中所展示之設定(其中輸入信號104係一系列兩個或兩個以上

線性調頻脈衝信號)可提供呈一已知電荷狀態處之量測頻譜112之形式之一對應「指紋」。此等指紋可用於根據上文所討論之例示性態樣比較電池或判定關於一電池之物理情況之資訊。

在例示性態樣中，可基於接收信號頻率特性而藉由改變頻率域中之暫停時間以最佳化輸入線性調頻脈衝信號，因此提供調諧量測方法之一方法。在一些態樣中，時變濾波器亦可用於助於抑制背景雜訊。在一些態樣中，交叉相關方法可用於估計所傳輸之線性調頻脈衝信號之頻率相依到達時間。重複如例示性NARS/NRUS分析中之多個驅動電壓(即輸入功率、振幅或應變)之上述量測及分析提供關於測試下電池之應變相依回應之有用資訊。如前述章節中所描述，具有與輸入信號之驅動電壓(即輸入功率、振幅或應變)之一非線性關係之測試下電池之振動回應提供關於具有比可能使用習知ARS/RUS分析更準確之電池之物理情況之資訊。

在例示性態樣中，亦可基於變化頻率及振幅之輸入信號之量測頻譜中之經識別之回應頻率而對對於線性調頻脈衝信號或具有一頻率成分範圍之其他輸入信號之回應執行一逆頻譜分析。例如，使用定量擬合運算法識別之共振模式可應用於(例如)量測頻譜112，其包括如圖5A至圖5B中所展示之一系列線性調頻脈衝信號之共振曲線。因此，使用一逆頻譜分析，可基於(例如)電池之一些性質(例如內部組件之幾何形狀、初始化學構造、結構及性質、電池內之惰性及反應性材料之位置及等等)之先前知識而建立產生量測頻譜之電池之一電腦模型。該電腦模型可用於產生一模擬共振頻譜(例如類似於使用物理電池產生之量測頻譜112)。接著，該模擬共振頻譜可用於與量測頻譜相比較以偵測模擬頻譜與量測頻譜之間的差異。可更新電腦模型中之參數以解釋差異且包含電池中之任何潛在或可能改變，

且模擬可以一反覆方式重新運行且比較可以一反覆方式重新進行。一旦模擬共振頻譜與量測共振頻譜之間的差異足夠小(例如小於一預定臨限值)，可考量電腦模型以準確地表示電池之真實物理情況。

在例示性態樣中，對電腦模型之參數之更新可由電池之性質及電化學之原理之知識。例如，在一鋰離子電池模型中，參數可包含在充電或放電期間石墨電極之結構中之鋰離子之分佈及基於該電池之既有知識之每循環之氣體產生。

例示性基於NARS/NRUS之電池診斷技術可有利地應用於電池材料之研究及開發、電池量測期間各種階段處之品質控制、裝配後品質控制及在最近購買(例如由一電池整合商)的電池中之品質之檢驗及預期效能。

另一實例性應用係新二手市場以檢驗及評估已收回電池(例如電動車電池)以判定剩餘使用年限(lifetime)及二次應用中(例如電網相關應用中)之可用性或可再利用性。例示性技術之又一實例性應用係當電池用於消費者電子器件、電動車、電網級能量儲存系統等等時，在操作時監測電池SOC及SOH。

此外，熟習技術者應瞭解連同本文所揭示之態樣所描述之各種繪示性邏輯區塊、模組、電路及演算法步驟可實施為電子硬體、電腦軟體或電子硬體及電腦軟體兩者之組合。為了清晰地繪示硬體及軟體之此可互換性，上文已大體上就各種繪示性組件、區塊、模組、電路及步驟之功能性而言描述該等組件、區塊、模組、電路及步驟。此功能性實施為硬體或軟體取決於特定應用及施加於總體系統上之設計約束。熟習技工可以不同方式實施各特定應用之所描述之功能性，但此等實施決策不應解譯為引起本發明之精神之一背離。

連同本文所揭示之態樣所描述之方法、序列及/或演算法可直接體現於硬體、由一處理器執行之一軟體模組或兩者之一組合中。一軟體模組可駐留於RAM記憶體、快閃記憶體、ROM記憶體、EPROM記憶體、EEPROM記憶體、暫存器、硬碟、一可移除式磁碟、一CD-ROM或本技術中已知之任何其他形式之儲存媒體中。一例示性儲存媒體耦合至處理器使得處理器可自儲存媒體讀取資訊或將資訊寫入儲存媒體。

相應地，本發明之一態樣可包含體現一種用於使用聲音信號(包含線性調頻脈衝信號)判定一電池之一或多個物理情況之方法之一電腦可讀媒體。相應地，本發明不受限於所繪示之實例且用於執行本文所描述之功能性之任何構件包含於本發明之態樣中。

儘管前述揭示內容展示本發明之繪示性態樣，但應注意可在不背離由隨附申請專利範圍所界定之本發明之範疇之情況下在本文中進行各種改變及修改。根據本文所描述之本發明之態樣之方法請求項之步驟及/或動作不需要以任何特定順序執行。此外，儘管本發明之元件可以單數描述或主張，但除非明確說明受限於單數，否則可預期複數。

#### 【符號說明】

100	系統
102	控制單元
104	輸入信號
106	驅動傳感器
108	電池
108a	電池A
108b	電池B

110	接收傳感器
111	接收單元
112	量測頻譜
112a	量測頻譜
112b	量測頻譜
113	共振頻率
114	資料儲存及處理器
116	電池週期計
120	曲線圖
202	電池
204	電池
206a至206c	驅動傳感器
208a至208c	接收傳感器
300	方法
302	區塊
304	區塊
306	區塊
308	區塊
310	區塊
$A_1$ 至 $A_n$	振幅
$f_0$ 至 $f_n$	頻率



201833578

## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

用於判定電池物理情況之非線性聲音共振頻譜(NARS)

### 【英文發明名稱】

NONLINEAR ACOUSTIC RESONANCE SPECTROSCOPY (NARS)  
FOR DETERMINING PHYSICAL CONDITIONS OF BATTERIES

### 【中文】

判定一電池之物理情況(諸如電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態)之系統及方法包含：將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至該電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；及基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動。自經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性。使用非線性聲音共振頻譜(NARS)或非線性共振超音波頻譜(NRUS)至少部分地基於非線性回應特性而判定該電池之物理情況。

### 【英文】

Systems and methods of determining physical conditions of a battery, such as state of charge (SOC), state of health (SOH), quality of construction, defect, or failure state include driving two or more acoustic signals of two or more amplitudes, each acoustic signal having two or more frequencies, into the battery and detecting vibrations generated in the battery based on the two or more acoustic signals. Nonlinear response characteristics of the battery for the two or more acoustic signals are determined from the detected vibrations. The

physical conditions of the battery are determined based at least in part on the nonlinear response characteristics, using nonlinear acoustic resonance spectroscopy (NARS) or nonlinear resonant ultrasound spectroscopy (NRUS).

【指定代表圖】

圖5A

【代表圖之符號簡單說明】

104	輸入信號
108	電池
112	量測頻譜
113	共振頻率
120	曲線圖
$A_1$ 至 $A_n$	振幅
$f_0$ 至 $f_n$	頻率

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種判定一電池之一或多個物理情況之方法，該方法包括：

將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至該電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；

基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動；

自該等經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性；及

至少部分地基於該非線性回應特性而判定該電池之一或多個物理情況。

### 【第2項】

如請求項1之方法，其中該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之該非線性回應特性包括對應於該兩個或兩個以上聲音信號之該兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上共振頻率。

### 【第3項】

如請求項2之方法，其中至少部分地基於該非線性回應特性而判定該一或多個物理情況包括判定該兩個或兩個以上共振頻率之間的一斜率或曲線。

### 【第4項】

如請求項1之方法，其中該一或多個物理情況包括一電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態之一或多者。

### 【第5項】

如請求項1之方法，其包括該電池之一非線性聲音共振頻譜(NARS)

或非線性共振超音波頻譜(NRUS)。

**【第6項】**

如請求項1之方法，其包括基於兩個或兩個以上驅動電壓而產生該兩個或兩個以上聲音信號，其中該兩個或兩個以上聲音信號之該兩個或兩個以上振幅引起施加於該電池之兩個或兩個以上應變值。

**【第7項】**

如請求項1之方法，其中該兩個或兩個以上聲音信號包括對應的兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號，該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號具有兩個或兩個以上振幅且該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之各者包括具有兩個或兩個以上頻率之一相同頻譜。

**【第8項】**

如請求項7之方法，其中該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之各者係以下之一者：具有含兩個或兩個以上頻率之該相同頻譜之一升頻調頻脈衝，其包括單調遞增頻率；或具有含兩個或兩個以上頻率之該相同頻譜之一降頻調頻脈衝，其包括單調遞減頻率。

**【第9項】**

如請求項7之方法，其中該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之各者係以下之一者：具有含兩個或兩個以上頻率之該相同頻譜之一線性調頻脈衝，其包括線性改變頻率；或具有含兩個或兩個以上頻率之該相同頻譜之一非線性調頻脈衝，其包括頻率之一非線性函數，該非線性函數包括一指數或對數函數。

**【第10項】**

如請求項1之方法，其進一步包括改變一完全充電狀態與一完全放電

狀態之間的該電池之一電荷狀態。

**【第11項】**

如請求項1之方法，其進一步包括由耦合至該電池之一驅動傳感器驅動該聲音信號及偵測耦合至該電池之一接收傳感器或加速計中之振動。

**【第12項】**

如請求項11之方法，其進一步包括基於所要激發模式而相對於該電池放置該驅動傳感器及該接收傳感器，其中該放置包含將該驅動傳感器及該接收傳感器安置於該電池之相對側或邊緣上。

**【第13項】**

如請求項12之方法，其中該放置包含將該驅動傳感器及該接收傳感器安置於該電池之相同側上。

**【第14項】**

一種裝置，其包括：

構件，其用於將具有兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上聲音信號驅動至一電池中，各聲音信號具有兩個或兩個以上頻率；

構件，其用於基於該兩個或兩個以上聲音信號而偵測該電池中所產生之振動；

構件，其用於自該等經偵測之振動判定該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之非線性回應特性；及

構件，其至少部分地基於該非線性回應特性而判定該電池之一或多個物理情況。

**【第15項】**

如請求項14之裝置，其中該電池對該兩個或兩個以上聲音信號之該

非線性回應特性包括對應於該兩個或兩個以上聲音信號之該兩個或兩個以上振幅之兩個或兩個以上共振頻率，其中至少部分地基於該非線性回應特性而判定該一或多個物理情況之該構件包括用於判定該兩個或兩個以上共振頻率之間的一斜率或曲線之構件。

**【第16項】**

如請求項14之裝置，其中該一或多個物理情況包括一電荷狀態(SOC)、健康狀態(SOH)、構造品質、缺陷或故障狀態之一或多者。

**【第17項】**

如請求項14之裝置，其包括基於兩個或兩個以上驅動電壓而產生該兩個或兩個以上聲音信號之構件，其中該兩個或兩個以上聲音信號之該兩個或兩個以上振幅引起施加於該電池之兩個或兩個以上應變值。

**【第18項】**

如請求項14之裝置，其中該兩個或兩個以上聲音信號包括對應的兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號，該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號具有兩個或兩個以上振幅且該兩個或兩個以上線性調頻脈衝信號之各者包括具有兩個或兩個以上頻率之一相同頻譜。

**【第19項】**

如請求項14之裝置，其進一步包括用於改變一完全充電狀態與一完全放電狀態之間的該電池之一電荷狀態之構件。

**【第20項】**

如請求項14之裝置，其中用於驅動該兩個或兩個以上聲音信號之該構件及用於偵測該等振動之該構件安置於該電池之相對側或邊緣上或該電池之相同側上。



















