公告本 412519

申請日期	87-10-29
案號	87117930
類別	C07C 49/00

A4
C4

（以上各欄由本局填註）

412519

發明 新型 專利說明書

一、發明新型名稱	中文	供沉積含鉍薄膜用之無水單核參（β-二酮酯）鉍組成物及其製造方法
	英文	ANHYDROUS MONONUCLEAR TRIS(BETA-DIKETONATE) BISMUTH COMPOSITIONS FOR DEPOSITION OF BISMUTH-CONTAINING FILMS, AND METHOD OF MAKING THE SAME
二、發明創作人	姓名	(1)湯瑪斯・H・鮑姆 (2)高塔姆・班達利 (3)瑪格麗特・查普伊斯
	國籍	(1)(3)美　國 (2)印　度
	住、居所	(1)美國康乃狄格州新費爾菲爾德市漢多爾巷2號 (2)美國康乃狄格州丹伯里市帕達納拉姆路38號#27 (3)美國康乃狄格州新米爾福市蓋格路54號
三、申請人	姓名（名稱）	尖端科技材料公司 (Advanced Technology Materials, Inc.)
	國籍	美　國
	住、居所（事務所）	美國康乃狄格州丹伯里市康摩斯路7號
	代表人姓名	彼得・S・柯林

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

412519

（由本局填寫）

承辦人代碼：	A6 B6
大　　類：	
ＩＰＣ分類：	

本案已向：

美　國（地區）　申請專利，申請日期：1997-10-30　案號：08/960,915　，☑有　☐無主張優先權

有關微生物已寄存於：　　，寄存日期：　　，寄存號碼：

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（1）

發明領域

本發明係關於無水單核參（β-二酮酸根）鉍組合物，例如無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍之合成及生產。此種含鉍組合物可用做化學蒸氣沉積鉍，鉍氧化物，含鉍氧化物及含鉍硫化物之前驅物。

相關技術之說明

強誘電隨機存取記憶體（FRAMs）依賴高度積體強誘電薄膜做為記憶體儲存格架構之重要元體。

強誘電氧化物如$SrBi_2Ta_2O_9$（SBT）之電學表現顯示與用於強誘電材料之鉍成分之前驅物有極大關係。例如，使用鉍前驅物如三苯基鉍導致化學計算方面控制不良，基質溫度高而分解前驅物，表面依賴性強，且前驅物之攙混效率與沉積期間之反應器壓力及氧分壓有極大關連。

為了改善前述缺點，業界持續尋找其它鉍前驅物。

其中一種含鉍前驅物為參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍。如此處使用，配合基"2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根"偶爾以代號"thd"表示。

本發明之目的係提供一類改良之鉍前驅物用於沉積鉍於例如強誘電薄膜及裝置等用途。

本發明之其它目的及優點由隨附之揭示內容及申請專利範圍將顯然易明。

發明概述

本發明係關於無水單核參（β-二酮酸根）鉍組合物及其合成方法。此種無水單核鉍前驅物乃新穎組合物比先前技

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（2）

術之雙核（β-二酮酸根）鉍組合物就其揮發性及沉積特性而言出乎意外地更優異，因此使本發明之無水單核鉍前驅物特別適合做為CVD前驅物。本發明之無水單核鉍組合物構成比較過去可得之雙核參（β-二酮酸根）鉍前驅物之業界十足進展。

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）鉍組合物之β-二酮酸根配合基可屬任何適當類型，包括下表I陳述之β-二酮酸根配合基：

表I

β-二酮酸根配合基	縮寫
2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根	thd
1,1,1-三氟-2,4-戊二酮酸根	tfac
1,1,1,5,5,5-六氟-2,4-戊二酮酸根	hfac
6,6,7,7,8,8,8-七氟-2,2-二甲基-3,5-辛二酮酸根	fod
2,2,7-三甲基-3,5-辛二酮酸根	tod
1,1,1,5,5,6,6,7,7,7-十氟-2,4-庚二酮酸根	dfhd
1,1,1-三氟-6-甲基-2,4-庚二酮酸根	rfmhd

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）鉍組合物可用做氣相沉積鉍之前驅物，用於形成例如$SrBi_2Ta_2O_9$(SBT)強誘電薄膜或形成合鉍之超導體膜。此等用途中，使用無水單核鉍來源材料可提供更佳傳熱及急速氣化，結果導致具有顯著改良化學計算學、形態及強誘電/超導特性之含鉍膜。

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物之合成可於質子惰性溶劑介質於無氧條件下，經由對應（β-二酮酸

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）
裝
訂
線
經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（3）

）鈉化合物與三鹵化鉍化合物反應進行。例如藉再結晶純化分離之反應產物鉍錯合物需於質子惰性介質於無氧條件下進行。

於特定方法方面，本發明係關於一種經由（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸）鈉與三氯化鉍於質子惰性溶劑於無氧條件下反應合成無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍之方法。

本發明之無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍通常可用於經由氣化無水單核參（β-二酮酸根）鉍形成氣化前驅物，氣化前驅物可用於沉積鉍或含鉍膜於基材上，沉積方式係經由氣化無水單核參（β-二酮酸根）鉍形成氣化前驅物，及氣化前驅物接觸基材而沉積鉍或含鉍膜於其上。

此種沉積可用於液體輸送及快速氣化無水單核參（β-二酮酸根）鉍前驅物而形成前驅物蒸氣，例如化學蒸氣沉積（CVD），包括任一種輔助（例如電漿輔助、光活化、離子術輔助等）CVD方法進行。

本發明之其它方面、特點及具體例由後文揭示及隨附之申請專利範圍將顯然自明。

圖式之簡單說明

圖1及2為參考文獻（先前技術）對雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$之X光晶相學結構說明，該錯合物為結晶白色固體，熔點117℃。

圖3為先前技術代表性雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$之前驅

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）
裝 訂 線
經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（4）

物傳熱（TGA）及熔點（DSC）曲線圖。

圖4為本發明之無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍錯合物之X-光晶相學結構說明。此種材料表示新型$Bi(thd)_3$。

圖5為本發明之無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍錯合物之熔點（DSC）曲線圖，熔點約139℃。

圖6為本發明之無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍錯合物之熔點（DSC）曲線圖，（曲線A）為"新"合成條件，（曲線B）為暴露於空氣/水氣48小時後及（曲線C）為暴露於空氣/水氣96小時後，顯示無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍錯合物暴露於空氣/水氣96小時後完全轉化成較低熔點之雙核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$。

發明之詳細說明及其較佳具體例

本發明係關於發現無水單核形式參（β-二酮酸根）鉍組合物，例如參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍，其可克服先前技術之雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$之缺點。

本發明之鉍錯合物由於屬於單核形式，故比較先前技術之雙核錯合物可提供改良之傳熱及更為可控制及可再現之氣相濃度。此等特點對本發明之單核鉍錯合物比較對先前技術由前述雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$形成之膜提供可形成具有優異化學計算學、形態及功能表現之含鉍膜。

至於沉積鉍或含鉍膜之前驅物，先前市售雙核Bi-thd錯合物就揮發性、傳熱性及氣化性質而言顯著低劣，揮發性

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

本紙張尺度適用中國國家標準（CNS）A4規格（210×297公釐）

五、發明說明（5）

較低，運送時更為容易分解，及比較預定更快速氣化，於沉積腔室上游之製程設備產生更高度殘餘物。先前技術之雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$對前驅物之分解之敏感度於液體輸送急速氣化過程嚴重不利，此種分解導致氣化器過早阻塞及沉積過程氣相濃度非期望地改變。此種氣相濃度變化又造成沉積膜厚度之非期望梯度及鉍成分沉積於多成分膜之膜化學計算之非期望梯度。

出乎意外地發現本發明之單核Bi（β-二酮酸根）$_3$錯合物可對先前技術之$Bi(thd)_3$前驅物料之缺點提供解決之道。本發明之Bi（β-二酮酸根）$_3$錯合物顯著優於對應雙核物種，提供改良之氣化及性能，延長氣化器壽命及含鉍膜之化學計算學控制$[Bi(thd)_3]_2$更佳。結果，本發明之Bi（β-二酮酸根）$_3$單核錯合物獲得高度可再現的CVD製程及基於膜化學計算學及均勻度，獲得品質改良之沉積膜。

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）錯合物通常可用於多種化學蒸氣沉積法用於形成含鉍膜，但錯合物特別可用做鉍或氧化鉍之氣相沉積前驅物用於形成強誘電薄膜及基於鉍之半導性薄膜材料。此種參（β-二酮酸根）鉍錯合物之最佳用途係用於形成強誘電含鉍薄膜用於製造例如強誘電隨機存取記憶體等裝置。該材料也可用於沉積含鉍硫化物及方鈷礦石。

本發明之單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物可以任一種適當方式沉積。例如，鉍沉積方法可用於輸送及快速氣化無水單核參（β-二酮酸根）鉍前驅物而形成前驅物蒸氣，其

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（6）

沉積可藉化學蒸氣沉積（CVD）進行，包括輔助（例如電漿輔助）CVD方法，或以任何適當方式進行。供液體輸送用途，無水單核參（β-二酮酸根）鉍可溶解於任一種可與鉍化學劑相容之適當溶劑介質，例如單一溶劑或多成分式溶劑混合物。

用於此種目的之適當多成分式溶劑混合物為包含溶劑物種A，B及C之溶劑組合物，其中A為C_6-C_8烷，B為C_8-C_{12}烷及C為基於乙二醇二甲醚（glyme）之溶劑（乙二醇二甲醚，二乙二醇二甲醚，四乙二醇二甲醚等）或多胺，其比例為A：B：C其中A占約3至約7份容積比，B占約2至約6份容積比及C占約0至約3份容積比。

高度較佳之此型溶劑混合物包含辛烷，癸烷及多胺而其比例為約5：4：1容積比。

可用於前述溶劑組合物做為成分C之多胺物種包括N,N,N',N'-四甲基伸乙基二胺，N,N,N',N",N"-五甲基二伸乙基三胺，N,N,N',N",N'",N"'-六甲基三伸乙基四胺，或其它適當多胺成分。

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物之合成可於質子惰性溶劑介質於無氧條件下及於室溫及大氣壓下進行，係經由對應Na（β-二酮酸根）化合物與BX_3反應，其中X為鹵原子（溴，氯，碘或氟），及最佳為氯。分離反應產物鉍錯合物之純化，例如藉再結晶純化，也較佳於質子惰性介質於無氧條件下進行。

質子惰性溶劑適合包含一或多種烷類如戊烷，辛烷或癸

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）
裝
訂
線
經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（ 7 ）

烷；脂族或環狀醚類如四氫呋喃；芳基溶劑物種如苯或甲苯；及/或任何其它適當質子惰性溶劑用於Na(β-二酮酸根)及BiX_3起始物料之溶液，其中此等溶劑不會妨礙Na(β-二酮酸根)與BiX_3起始物料反應形成單核(β-二酮酸根)鉍產物。

前述合成反應係於無氧條件下，亦即於大致不含且較佳大致完全不存在有氧進行。此種無氧條件例如包含於惰性或不含氧，例如於氮或氬氣下於含反應物或質子惰性溶劑介質之反應容器進行。同理，溶劑及反應物須乾燥且不含水及其它質子來源成分。

至於前述合成範例，無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍可根據本發明經由Na(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)與$BiCl_3$於庚烷，及於氮氣環境下反應合成。

合成後，本發明之無水單核參(β-二酮酸根)鉍，若有所需，可經由暴露單核參(β-二酮酸根)鉍錯合物於空氣及/或質子性介質如水，異丙醇等而轉成對應雙核物種。

現在參照附圖，圖1及圖2為參考文獻(先前技術)報告雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$之X光晶相學結構說明，該錯合物為結晶性白色固體，具有熔點117℃。

圖3為先前技術之代表性雙核鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$之前驅物輸送(TGA)及熔點(DSC)曲線圖，該錯合物具有熔點117℃。參考文獻報告此種材料之熔點係於112-115℃之範圍。此種物料之前驅物之輸送性質低劣，如TGA圖可反應出，於STA檢視過程中於廣泛溫度範圍皆顯示漸進重量損

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

本紙張尺度適用中國國家標準（CNS）A4規格（210×297公釐）

五、發明說明（ 8 ）

失。

圖4為本發明之無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍錯合物之X光晶相學結構說明圖。本材料表示新型$Bi(thd)_3$。

圖5為本發明之無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍錯合物之熔點(DSC)曲線圖，該錯合物具有熔點約139℃，此物料之IR及NMR特徵符合$Bi(thd)_3$之單核特徵。

圖6為本發明之無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍錯合物之熔點(DSC)曲線圖，(曲線A)為"新"合成條件，(曲線B)為暴露於空氣/水氣48小時後及(曲線C)為暴露於空氣/水氣96小時後，顯示無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍錯合物暴露於空氣/水氣96小時後完全轉化成較低熔點之雙核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍錯合物$[Bi(thd)_3]_2$。如此，暴露於周圍空氣/水氣漸進將單核前驅物總成具有熔點117-120℃之低熔點雙核材料。長時間直接暴露於空氣也導致形成白濕固體，最終變成澄清液體。此種固體單核$Bi(thd)_3$材料溶解於異丙醇或其它質子溶劑，也可將單核材料轉成雙核錯合物，$[Bi(thd)_3]_2$。

單晶X光照射結構測定顯示本發明之$Bi(thd)_3$材料具有單核形式。此種材料之熔點比參考文獻報告之熔點高20℃以上。先前技術參考文獻報告X光晶體結構其為雙核錯合物，$[Bi(thd)_3]_2$於晶格內具有過量Hthd配合基。先前技術參考文獻報告先前已知之Bi-thd錯合物為空氣及水氣穩

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

五、發明說明（ 9 ）

定性。此點對雙核錯合物$[Bi(thd)_3]_2$非真，也對本發明之無水單核$Bi(thd)_3$材料為非真，如圖6所示，單核$Bi(thd)_3$可藉暴露於空氣或暴露於質子性介質如異丙醇轉成已知之雙核錯合物，$[Bi(thd)_3]_2$。

如此，本發明之$Bi(thd)_3$材料為先前未知之單核錯合物，代表業界之一大進展，提供用於廣泛多種用途對氣化、氣相、輸送及鉍沉積具有高度吸引力特性之前驅材料，此等用途中，鉍或含鉍膜係用於製造微電子、強誘電及超導裝置或結構。

工業應用

本發明之無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物可用於化學蒸氣沉積含鉍膜，製造微電子裝置如高度積體強誘電薄膜隨機存取記憶體裝置及含鉍高溫超導體。本發明之鉍前驅物允許形成用於此種用途之含鉍膜，比較使用先前技術生產之薄膜具有顯著改良之化學計算學，形態及強誘電/超導特性。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

412519

A5
B5

四、中文發明摘要（發明之名稱：　供沉積含鉍薄膜用之無水單核參（β-二酮酯）鉍組成物及其製造方法

無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物可用做化學蒸氣沈積鉍之前驅物，用於生產比較得自先前技術之雙核參（β-二酮酸根）鉍錯合物之膜，具有顯著改良之化~~學計算學~~、形態及功能特性之含鉍膜。

英文發明摘要（發明之名稱：ANHYDROUS MONONUCLEAR TRIS(BETA-DIKETONATE) BISMUTH COMPOSITIONS FOR DEPOSITION OF BISMUTH-CONTAINING FILMS, AND METHOD OF MAKING THE SAME）

Anhydrous mononuclear tris(β-diketonato) bismuth complexes, useful as precursors for chemical vapor deposition of bismuth, for producing Bi-containing films of significantly improved stoichiometry, morphology and functional character, as compared to films obtained from dinuclear tris(β-diketonato) bismuth complexes of the prior art.

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄）

裝　訂　線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

本紙張尺度適用中國國家標準（CNS）A4規格（210×297公釐）

公告本

六、申請專利範圍

1.一種無水單核參（β-二酮酸根）鉍。

2.一種無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物，其中該β-二酮酸根配合基係選自包括：

2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根；

1,1,1-三氟-2,4-戊二酮酸根；

1,1,1,5,5,5-六氟-2,4-戊二酮酸根；

6,6,7,7,8,8,8-七氟-2,2-二甲基-3,5-辛二酮酸根；

2,2,7-三甲基-3,5-辛二酮酸根；

1,1,1,5,5,6,6,7,7,7-十氟-2,4-庚二酮酸根；及

1,1,1-三氟-6-甲基-2,4-庚二酮酸根。

3.一種無水單核參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍。

4.參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍具有熔點約139℃。

5.參（2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根）鉍，其具有圖4所示之X光晶相學結構。

6.一種合成無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物之方法，包含對應Na(β-二酮酸根)化合物與三鹵化鉍化合物於質子惰性溶劑介質於無氧條件下反應足夠時間及於足夠溫度下反應而獲得無水單核參（β-二酮酸根）鉍錯合物做為反應產物。

7.如申請專利範圍第6項之方法，其中該質子惰性溶劑介質包含選自烷類，脂族醚類，環狀醚類及芳基化合物之溶劑。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）
裝
訂
線
經濟部中央標準局員工消費合作社印製

六、申請專利範圍

8.如申請專利範圍第6項之方法，其中該質子惰性溶劑介質包含選自戊烷，辛烷，癸烷，四氫呋喃，苯及甲苯之溶劑。

9.如申請專利範圍第6項之方法，其中Na(β-二酮酸根)化合物包含一種β-二酮酸根部份選自包括：

2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根；

1,1,1-三氟-2,4-戊二酮酸根；

1,1,1,5,5,5-六氟-2,4-戊二酮酸根；

6,6,7,7,8,8,8-七氟-2,2-二甲基-3,5-辛二酮酸根；

2,2,7-三甲基-3,5-辛二酮酸根；

1,1,1,5,5,6,6,7,7,7-十氟-2,4-庚二酮酸根；及

1,1,1-三氟-6-甲基-2,4-庚二酮酸根。

10.如申請專利範圍第6項之方法，其中三鹵化鉍化合物為$BiCl_3$。

11.一種合成無水單核參(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)鉍之方法，包含Na(2,2,6,6-四甲基-3,5-庚二酮酸根)與$BiCl_3$於質子惰性溶劑介質於無氧條件下反應。

12.如申請專利範圍第11項之方法，其中該質子惰性溶劑介質包含選自烷類，脂族醚類，環狀醚類及芳基化合物之溶劑。

13.如申請專利範圍第11項之方法，其中該質子惰性溶劑介質包含選自戊烷，辛烷，癸烷，四氫呋喃，苯及甲苯之溶劑。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 訂 線

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

公告本

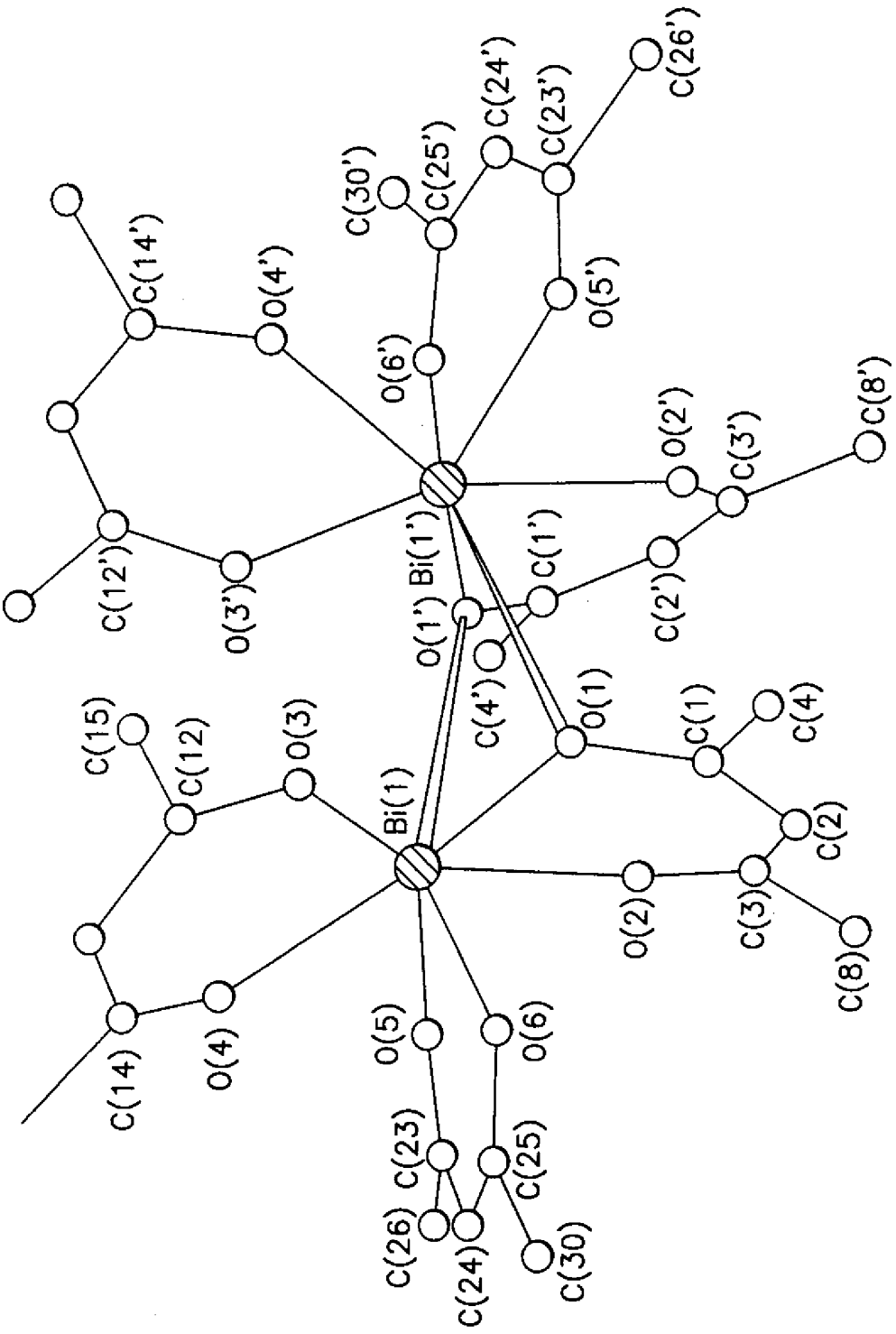

C(14')
O(4')
C(30')
C(25')
C(24')
C(23')
C(26')
O(6')
O(5')
C(12')
O(3')
O(1') Bi(1')
C(1')
O(2')
C(3')
C(8')
C(2')
C(4')
C(15)
C(12)
O(3)
Bi(1)
O(1)
C(1)
C(4)
C(2)
O(2)
C(3)
C(8)
C(14)
O(4)
O(5)
O(6)
C(23)
C(25)
C(26)
C(24)
C(30)

圖 1

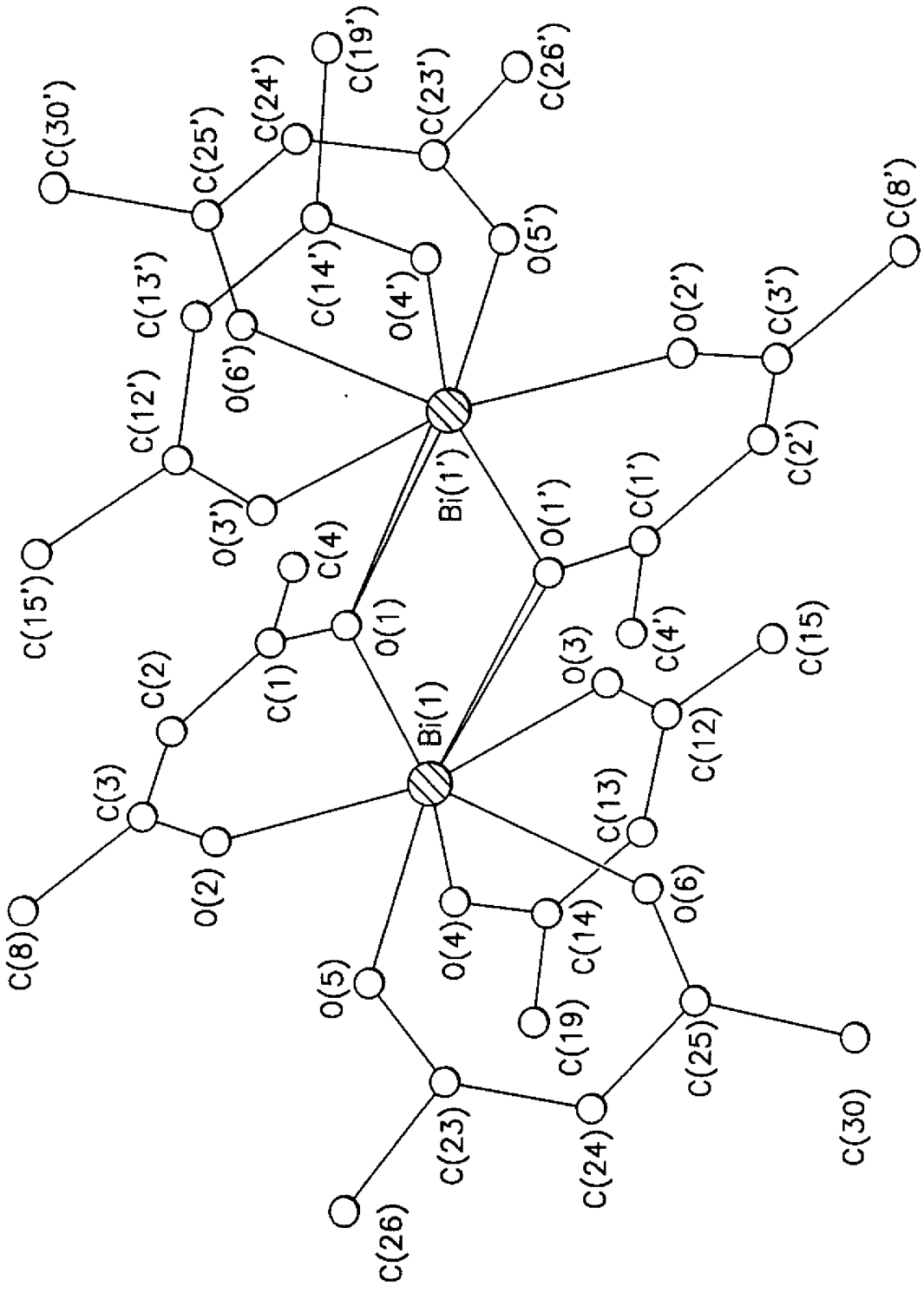

C(30')
C(25')
C(24')
C(19')
C(23')
C(26')
C(8')
O(5')
O(2')
C(3')
C(13')
C(14')
O(4')
O(6')
C(12')
C(15')
O(3')
C(4)
Bi(1')
O(1')
C(1')
C(2')
O(1)
C(1)
C(2)
C(3)
C(8)
O(2)
Bi(1)
O(3)
C(4')
C(15)
C(12)
C(13)
O(6)
O(5)
O(4)
C(14)
C(19)
C(25)
C(23)
C(24)
C(26)
C(30)

図 2

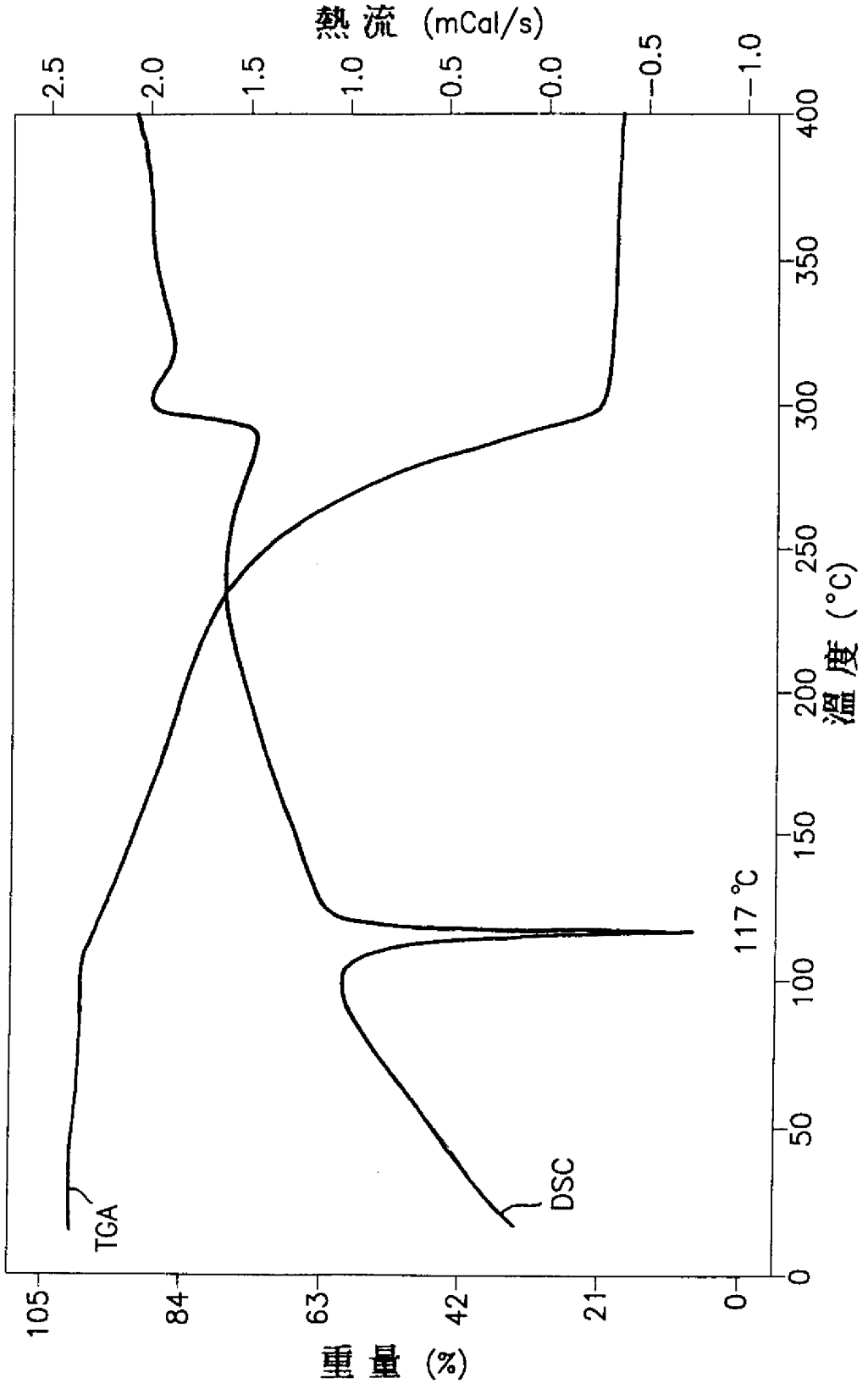

熱流 (mCal/s)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
400
350
300
250
200
150
100
50
0
溫度 (°C)
117 °C
TGA
DSC
105
84
63
42
21
0
重量 (%)

圖 3

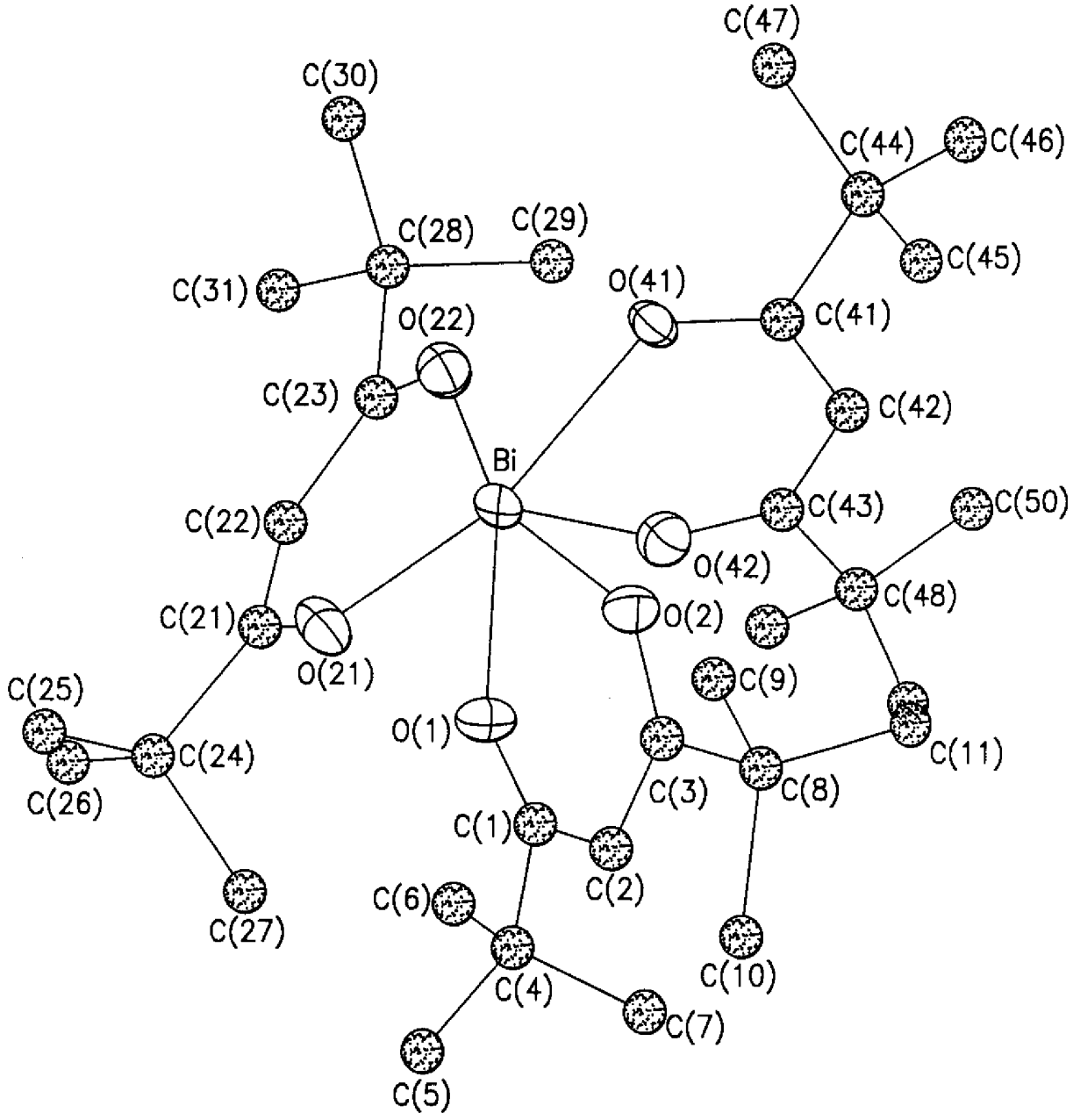

C(47)
C(30)
C(44)
C(46)
C(28)
C(29)
C(45)
C(31)
O(41)
O(22)
C(41)
C(23)
C(42)
Bi
C(22)
C(43)
C(50)
O(42)
C(21)
O(2)
C(48)
O(21)
C(9)
C(25)
O(1)
C(11)
C(24)
C(3)
C(8)
C(26)
C(1)
C(2)
C(6)
C(27)
C(10)
C(4)
C(7)
C(5)

圖 4

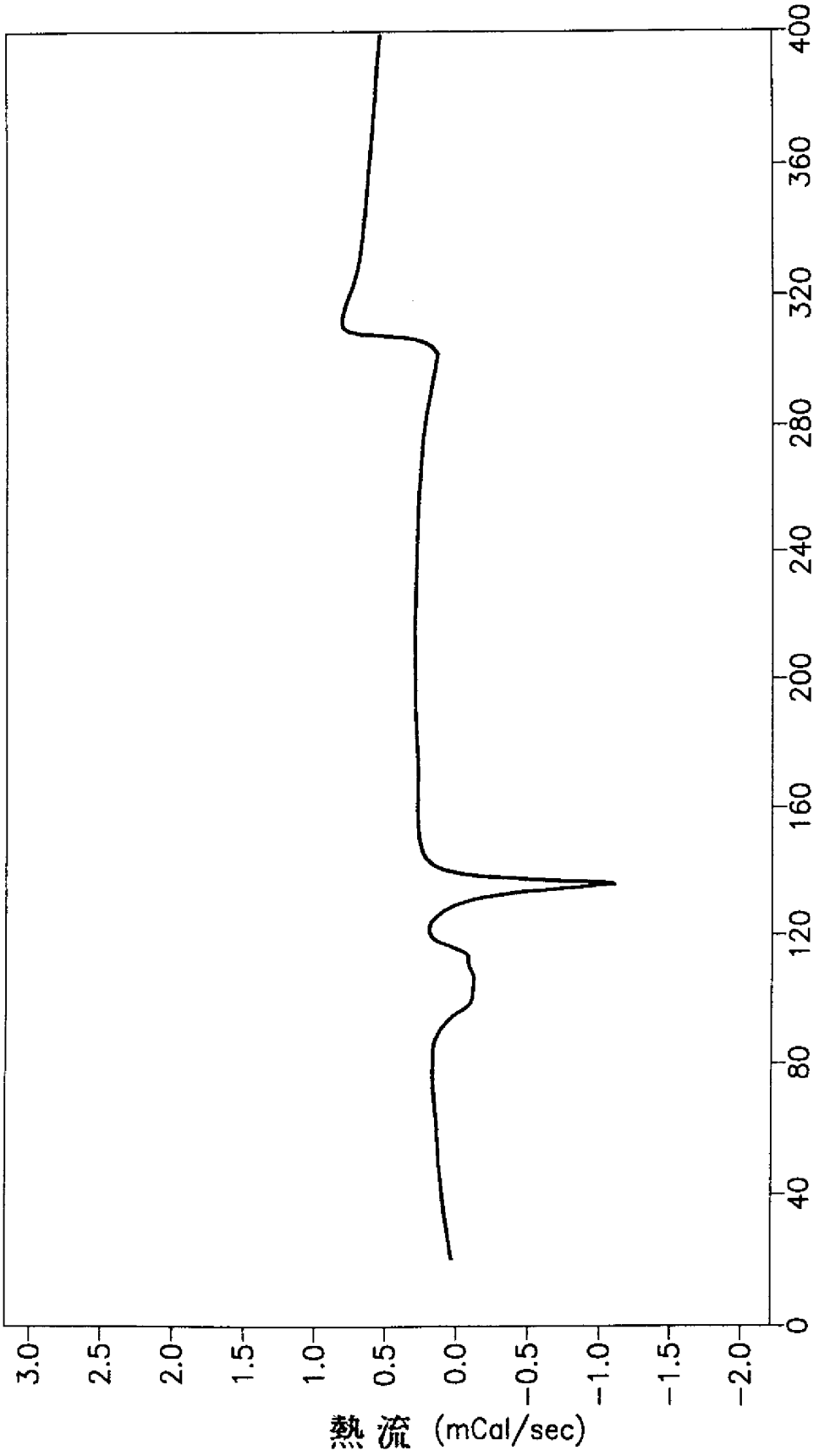

3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
−1.5
−2.0
熱流 (mCal/sec)
0
40
80
120
160
200
240
280
320
360
400
溫度 (°C)

圖 5

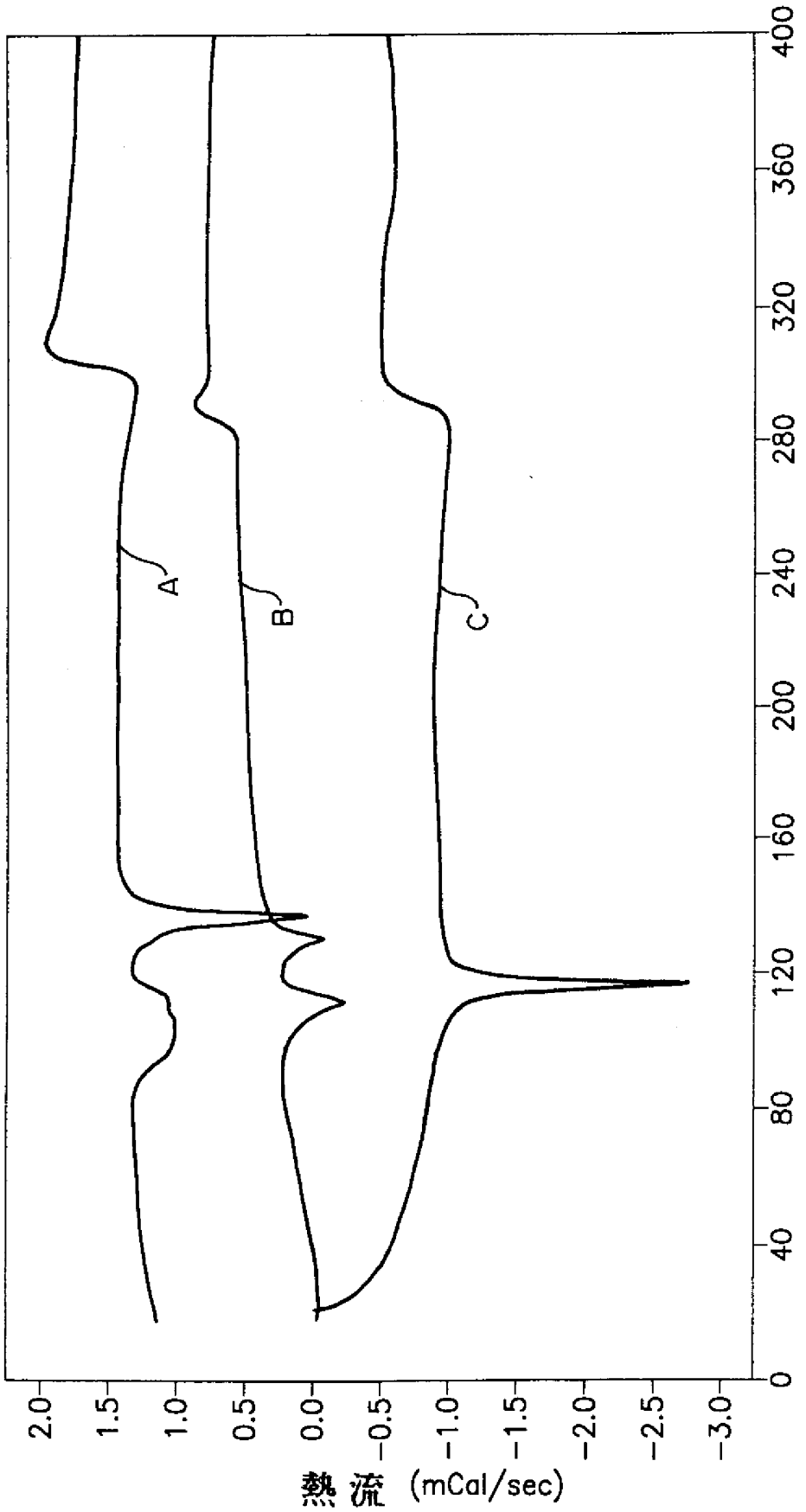

A
B
C
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
−1.5
−2.0
−2.5
−3.0
熱流 (mCal/sec)
0
40
80
120
160
200
240
280
320
360
400
溫度 (°C)

圖 6