

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## BODIPY 類衍合物之合成與應用研究(第 2 年) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 99-2113-M-040-003-MY2  
執行期間：100 年 08 月 01 日至 101 年 07 月 31 日  
執行單位：中山醫學大學應用化學系(所)

計畫主持人：趙啟民

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：蔡明山  
碩士班研究生-兼任助理人員：邱柏翰  
碩士班研究生-兼任助理人員：蔡倫軒  
碩士班研究生-兼任助理人員：蕭尹婷  
大專生-兼任助理人員：林佑昕  
大專生-兼任助理人員：莊子融

公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 30 日

中文摘要：申請者提出兩年期計劃，計劃內容包括第一年設計及合成具活性氧物質感應能力的以 BODIPY 為主體的探針，期望是偵測 mitochondria 內高活性氧物質的探針，第二年將發展以 BODIPY 為基礎的醣類螢光感測分子，希望能夠更進一步發展成對血糖分子具有高專一性及靈敏性的螢光感測分子，並在未來整合到非侵入式血糖感測器中。

中文關鍵詞：活性氧物質，醣類，螢光感測

英文摘要：Here is a two-year project proposal. The first year will be focused on the design and synthesis of reactive oxygen species responding probes based on BODIPY, especially the probes capable to sense the highly reactive oxygen species in mitochondria. The goal of the second year will be the structure design and synthesis of fluorescent BODIPY based sugar sensing molecules. We hope it can be modified to response to glucose molecule with high selectivity and sensitivity and can be integrated into the noninvasive glucose sensor in the future.

英文關鍵詞：BODIPY, reactive oxygen species, sugar, glucose

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

## BODIPY 類衍合物之合成與應用研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 99-2113-M-040-003-MY2

期間：99年8月1日至101年7月31日

計畫主持人：趙啟民

共同主持人：周必泰

計畫參與人員：蔡明山，蔡佺軒，邱柏翰、蕭尹婷、林佑昕、莊子融

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、

列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學應用化學系

中 華 民 國 101 年 10 月 30 日

## 目錄

中英文摘要.....	II
前言.....	1
研究目的.....	2
文獻探討.....	3
參考文獻.....	7
結果與討論.....	8
附錄.....	14

申請者提出兩年期計劃，計劃內容包括第一年設計及合成具活性氧物質感應能力的以 BODIPY 為主體的探針，期望是偵測 mitochondria 內高活性氧物質的探針，第二年將發展以 BODIPY 為基礎的醣類螢光感測分子，希望能夠更進一步發展成對血糖分子具有高專一性及靈敏性的螢光感測分子，並在未來整合到非侵入式血糖感測器中。

關鍵詞：活性氧物質，醣類，螢光感測

### **Abstract**

Here is a two-year project proposal. The first year will be focused on the design and synthesis of reactive oxygen species responding probes based on BODIPY, especially the probes capable to sense the highly reactive oxygen species in mitochondria. The goal of the second year will be the structure design and synthesis of fluorescent BODIPY based sugar sensing molecules. We hope it can be modified to response to glucose molecule with high selectivity and sensitivity and can be integrated into the noninvasive glucose sensor in the future.

Key words: BODIPY, reactive oxygen species, sugar, glucose

## 前言：

有機發光團的發現儘管已經存在一個世紀左右，不過在應用上的蓬勃發展也不過是這近一二十年的事，早期如常見的工業及民生用染料，光碟片上的感光物質皆可能使用到合成的有機材料，而時間上距離現在較近有機電激發光材料也是曾經沸騰一時，姑且不論現在的成與敗，但不可否認與抹滅的是當時的研究經驗與成果確實對現今最熱門的太陽能電池其中一個熱門領域-光敏染料太陽能電池(DSSC)材料發展的進入與推動有著一股強大的基礎與助力在。就近期發表的文獻分析來看，由於發展新穎的有機光電材料及配合發展迅速的奈米科技這兩種需求加溫，致使研究的方向有略微的朝這兩個方向前進的趨勢；就發展新穎的有機光電材料來說，由於有機發光材料在許多領域中的優良表現及可能的龐大應用潛力促使大家更積極的投入研發及應用的探討，而有機發光材料就種類上來說又分為很多種，如何選擇端視應用面而定。

本計畫旨在發展生物醫學研究上滿重要的活性氧物質及醣類螢光感測分子，基於應用面的考量，必須選擇熱及光化學穩定性佳、光吸收係數高、螢光量子產率高及水中溶解度好的螢光化合物，在這眾多的螢光分子中，我們將選擇首先被發展為冷光標籤(luminescent tags)及雷射染劑(laser dyes)的 BODIPY(4-borata-3a-azonia-4a-aza-s-indacene)家族化合物為第一順位研究對象。

## 研究目的：

本研究計畫第一年旨在開發一些以 BODIPY 為基礎結構的有機螢光分子，應用於生物醫學研究上滿重要的活性氧物質及醣類分子的檢測中，發展過程中將對不同的結構所造成的光學特性(包括吸收及螢光)配合理論計算歸納整理，在此將有別於大部分文獻中關於 BODIPY 主體的基礎研究，而是更專注於探針合成後性質的歸納及理論上的探討，藉由此計畫的執行希望建立在合成設計上的 library，而開發出對 mitochondria 內的高活性氧物質及對血糖分子具有高選擇性及靈敏性的探針是本計畫最希望達成的目標。

第二年計畫希望發展以 BODIPY 為基礎的醣類螢光感測分子，希望能夠更進一步發展成對血糖分子具專一性的血糖螢光感測分子。光學檢測方式雖然可能會遭遇較大的外在干擾，不過卻不僅可以提供更即時、更靈敏、更高準確度的優勢，以螢光感測機制來偵測醣類分子將來有機會整合到非侵入式的血糖感測儀中而改變整個血糖檢測儀研發的方向。

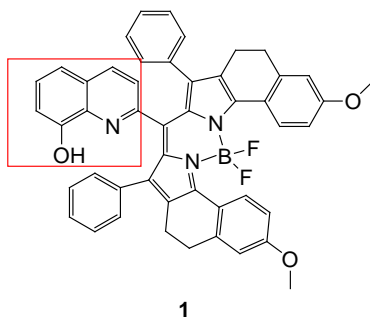


## 文獻探討：

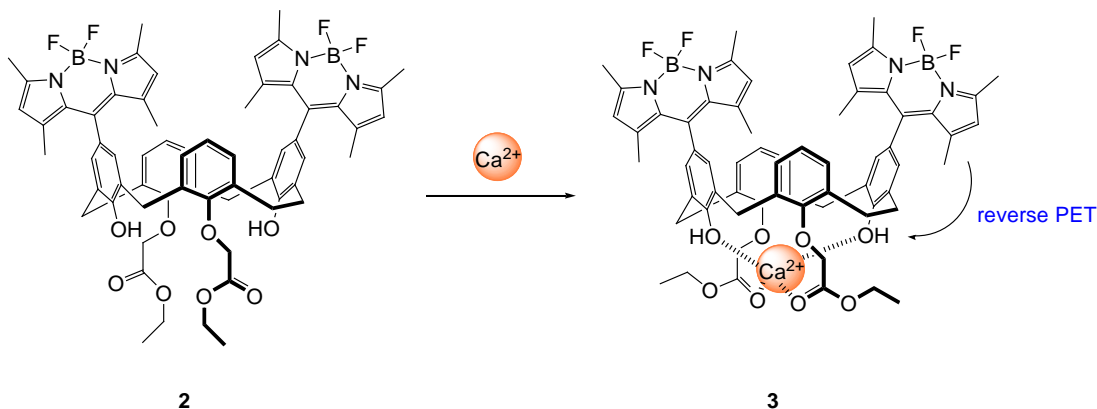
### 國內外有關本計劃之研究情況

第一年計畫為設計及合成具 ROS 感應能力的以 BODIPY 為主體的探針，更期望是偵測 mitochondria 內 hROS 的探針，BODIPY 應用於感測上已經有不少的發表，但應用於 ROS 的檢測上並不多，用於活體中 ROS 的檢測上更是尚未有發表。茲就 BODIPY 應用於感測方面的研究做一說明。

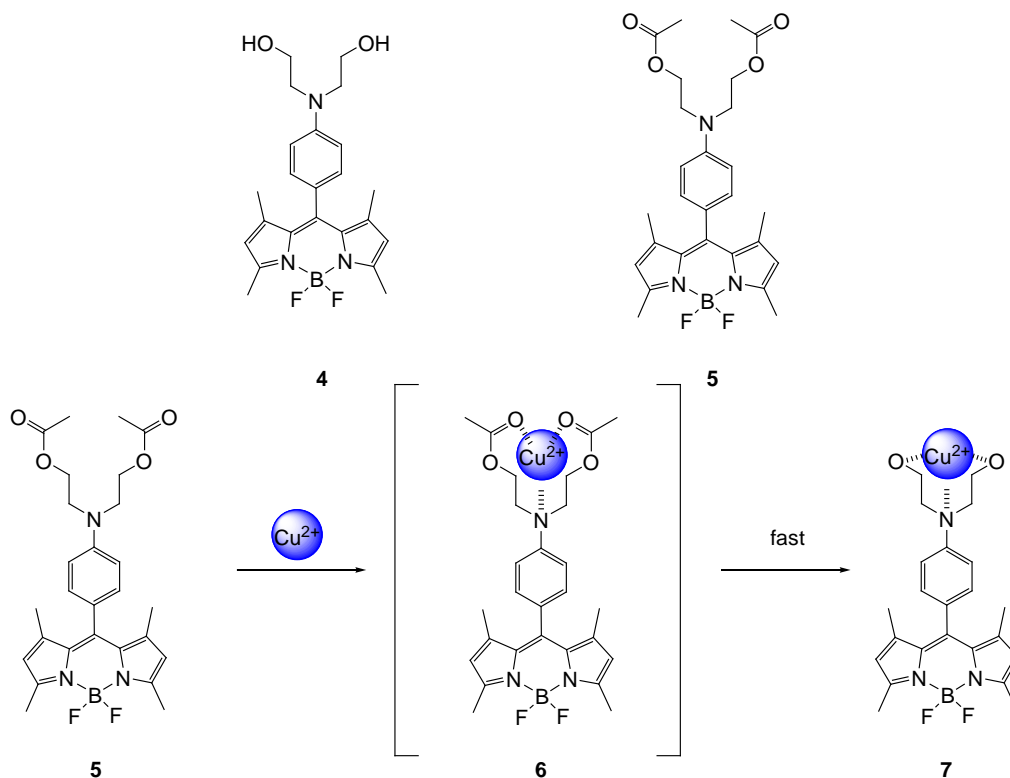
1. 2006 年，Paul A. Bentley<sup>1</sup> 利用 8-hydroxyquinoline 結構接在 BODIPY 上形成化合物 **1**，作者以多種不同的陽離子來測試，發現 8-hydroxyquinoline 可以選擇性的辨認  $\text{Cu}^{2+}$ ，在  $\text{Cu}^{2+}$  的存在下原本的螢光會被淬滅掉。



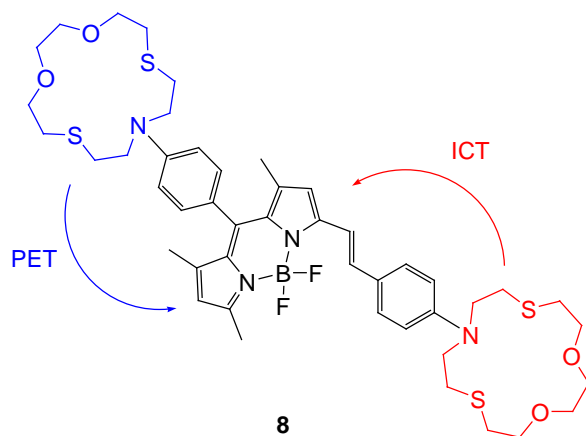
2. 2006 年，Jong Seung Kim<sup>2</sup> 教授實驗室則是將 cone-calix[4]arene 鍵結於 BODIPY 上合成出用陽離子感測器，經由多種陽離子的測試中，此分子對  $\text{Ca}^{2+}$  的選擇性及靈敏度最好，原因是兩個 proximal 的 hydroxyl group 及兩個面對面的 ethyl ester 對  $\text{Ca}^{2+}$  有螯合的作用；而感測機制如下圖所示，當  $\text{Ca}^{2+}$  與此分子 chelate 後會有 reverse PET 的效應，致使原本的螢光隨著  $\text{Ca}^{2+}$  的濃度增加而減弱。



3. Juyoung Yoon<sup>3</sup> 發表了兩個結構，化合物 **4** 呈現出對  $\text{Cu}^{2+}$  及  $\text{Pb}^{2+}$  很高的選擇性及很強的 chelation enhanced fluorescence effects (CHEF)；而化合物 **5** 可以經由選擇性水解掉 acetyl group 而辨認  $\text{Cu}^{2+}$ 。

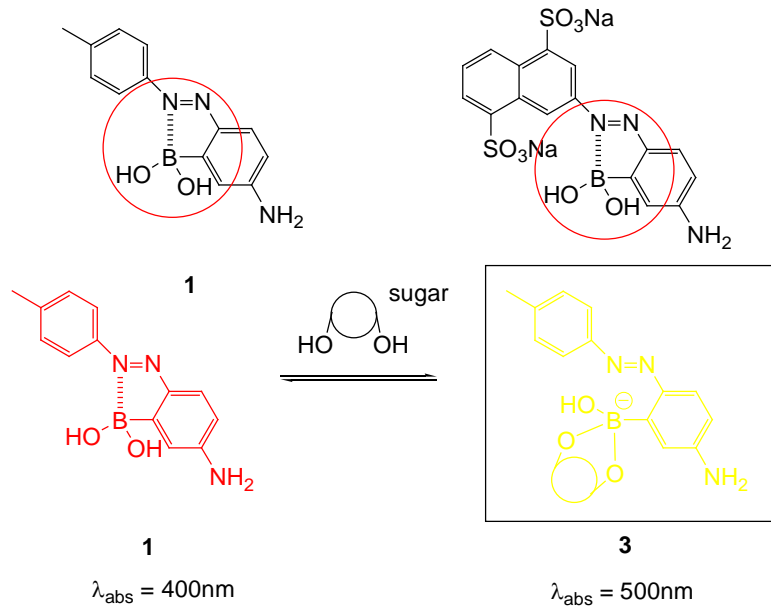


4. 2007年，Yuliang Li<sup>4</sup>將兩個 dithia-dioxa-aza 冠醚分子接在 BODIPY 分子上，一個接在 meso 位置，另一個由 3 號位置延伸出去，分子結構如化合物 8 所示。當此化合物遇到  $\text{Hg}^{2+}$  時發現會有 PET 及 ICT 效應，所以會有吸收及螢光性質的改變，螢光增強 7 倍而化合物顏色由紫色變成粉紅色。

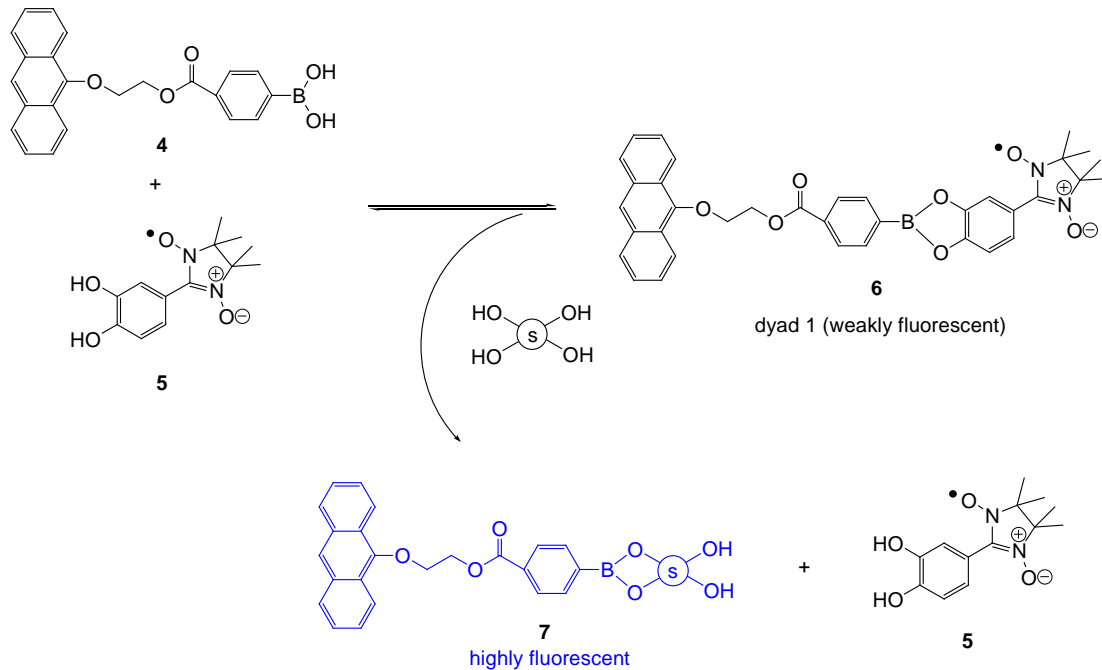


而近期利用 boronic acid 當作是醣類分子受體的感測分子設計的研究如下：

1. Yuya Egawa<sup>5</sup> 教授於 2007 年發表了 *ortho* 位置有 azo 基團取代的 phenylboronic acids 做為醣類的感測分子。作者合成硼酸化合物 1 及 2，發現在醣類分子 D-glucose 及 D-fructose 存在下會有 UV-vis 吸收特性的改變，尤其受 D-fructose 的影響最為明顯，意即此二分子可當作是 colorimetric sugar sensing molecule，可以利用呈色來鑑定醣類分子的存在與否；作者在文中也提出了醣類分子與化合物 1 鍵結導致光譜改變的機制，如下式所示。當醣類分子存在時會競爭化合物 1 中的硼原子，造成原本的 N-B bond 消失，因此其 400nm 左右的吸收下降而產物 500nm 左右的吸收上升，故在顏色上可看到其差別。

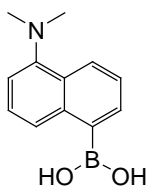


2. 2007 年 Daoben Zhu<sup>6</sup> 教授報導了由 boronic acid 與化合物 5 所形成的中間體化合物 nitronyl nitroxide–anthracene dyad 6 對於醣類分子具有感應的行為，作者提出的螢光感應機制如下圖所示。具強螢光的硼酸化合物 4 與帶有 diol moiety 的 nitronyl nitroxide 5 進行反應得到化合物 6，因相接的兩部分電子轉移之故使得化合物 4 原本的螢光特性消失，待加入醣類分子後，由於醣類分子上的 diol 會競爭取代掉 nitronyl nitroxide 5，遂使得電子轉移機制消失而呈現出化合物 4 原本的強螢光特性。

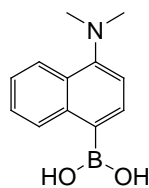


3. Binghe Wang<sup>7</sup> 發表了兩個水溶性的以 naphthalene 為基本骨架的 boronic acid 異構物 5-(dimethyl -amino) naphthalene-1-boronic acid (5-DMANBA, 12) 及 4-(dimethylamino) naphthalene-1-boronic acid (4-DMANBA, 13)，這兩個化合物可以在中性 pH 值下對醣類分子有感應，不過因官能基的相對位置不同而呈現出不同的螢光感應現象。化合物 12 在與 50 mM 的 fructose 作用後，其波長 513nm 的螢光強度增加 61%，波長 433nm 的螢光增加 36 倍，而且其螢光增強程度會隨著 pH 改變而改變，可以當作是 ratiometric

sensor；而化合物 **13**，其 dimethylamino group 位於 boronic acid 的對位，在碰到醣類分子後單一波長 445nm 的螢光會增強許多倍，是屬於 on-off 機制的 sensor。

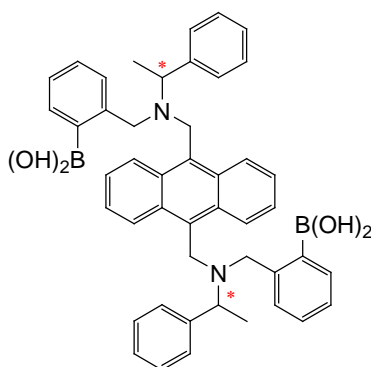


**12** (5-DMANBA)



**13** (4-DMANBA)

4. Tony D. James<sup>8</sup> 教授對於醣類分子的 artificial receptor 很有研究，他於 2005 年發表了一個對於六碳醣醇類具有高度結合能力及鏡像選擇性但是對於五碳醣、四碳醣及單醣的結合能力並不強的 boronic acid 化合物 **14**，結構示於下。對醣類分子具鍵結能力的 boronic acid moiety 被接在很 rigid 且帶有 chiral center 的結構上是此篇文章的一大特色，化合物 **14** 展現出很優異的鏡像選擇性，如對 D-mannitol 就有 2000:1 的選擇性。而偵測機制亦是利用 off-on 的機制，即醣類分子進來後會與 boronic acid moiety 鍵結，原本分子內的 B-N 鍵結喪失因而展現螢光訊號或增強螢光訊號。



**14**

## 參考文獻

- (1) Mei, Y.; Bentley, P. A.; Wang, W. *Tetrahedron Lett.* **2006**, *47*, 2447–2449.
- (2) Kim, H. J.; Kim, J. S. *Tetrahedron Lett.* **2006**, *47*, 7051–7055.
- (3) Qi, X.; Jun, E. J.; Xu, L.; Kim, S. J.; Hong, J. S. J.; Yoon, Y. J.; Yoon, J. *J. Org. Chem.* **2006**, *71*, 2881-2884.
- (4) Yuan, M.; Li, Y.; Li, J.; Li, C.; Liu, X.; Lv, J.; Xu, J.; Liu, H.; Wang, S.; Zhu, D. *Org. Lett.* **2007**, *9*, 2313-2316.
- (5) Egawa, Y.; Gotoh, R.; Niina, S.; Anzai, J-i. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2007**, *17*, 3789-3792.
- (6) Yu, Y.; Zhang, D.; Tan, W.; Wang, Z.; Zhua, D. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2007**, *17*, 94-96.
- (7) Gao, X.; Zhang, Y.; Wang, B. *New J. Chem.* **2005**, *29*, 579-586.
- (8) Zhao, J.; James, T. D. *J. Mater. Chem.* **2005**, *15*, 2896-2901.

## 結果與討論

I. 我們在執行計畫期間利用one-pot方式合成了Boron-methoxyl BODIPYs，並做了細胞染色的實驗，研究成果已發表於學術論期刊。( *Tetrahedron*. **2011**, *67*, 7919-7922.)

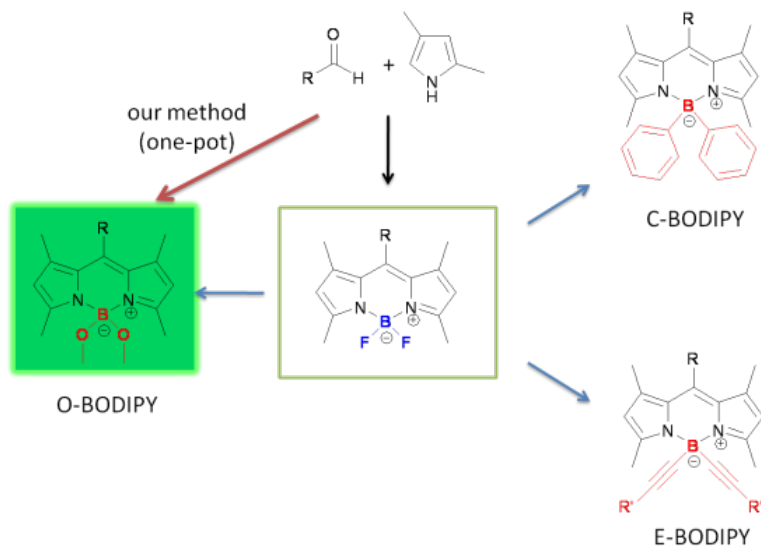
### **Title: Convenient one-pot procedure for synthesizing 4,40-dimethoxy-boradiaza-s-indacene dyes and their application to cell labeling**

**Abstract:** We succeeded in developing a convenient one-pot pathway for synthesizing 4,40-dimethoxy-boradiaza-s-indacene dyes 4aed. The structures feature two methoxy groups in place of the fluorine atoms in 4,40-difluoro-4-boradiaza-s-indacene. These novel dyes emitted green fluorescence and possessed moderate to high fluorescence quantum yields (0.32-0.93). We demonstrated that these dyes have applicability to cell labeling.

#### **1. Introduction**

Derivatives of 4,4'-difluoro-4-boradiaza-s-indacene (F-BODIPY) have been proven to be useful fluorophores on account of their high molar absorptivity, fluorescence quantum yield, and stability against light and chemical reactions. Because of these excellent characteristics, they have also been extensively utilized as biomolecular labels; fluorescent chemosensors for metal ions, protons, and superoxides; and dye-sensitized solar cell (DSSC) material. Recently, non-fluorinated BODIPY dyes have been developed rapidly and extensively by replacing 4,4'-difluorine atoms with other substituents such as carbocycle groups (C-BODIPY), ethynyl groups (E-BODIPY), or alkoxy groups (O-BODIPY). However, till date, only a few O-BODIPY dyes have been reported. Treatment of F-BODIPY with  $\text{AlCl}_3$  in dichloromethane and subsequent addition of alcohol resulted in the total substitution of the two fluorine atoms to afford 4,4'-dialkoxyl-substituted BODIPY, reported by Me'ly and Bonnet. They found that the O-BODIPY dyes have similar or even better spectroscopic properties than the parent, F-BODIPY. In this paper, we provide an alternative one-pot procedure for the synthesis of 4,4'-dimethoxy-boradiaza-s-indacene dyes 4a–4d, which have different aryl substituents at the meso position.

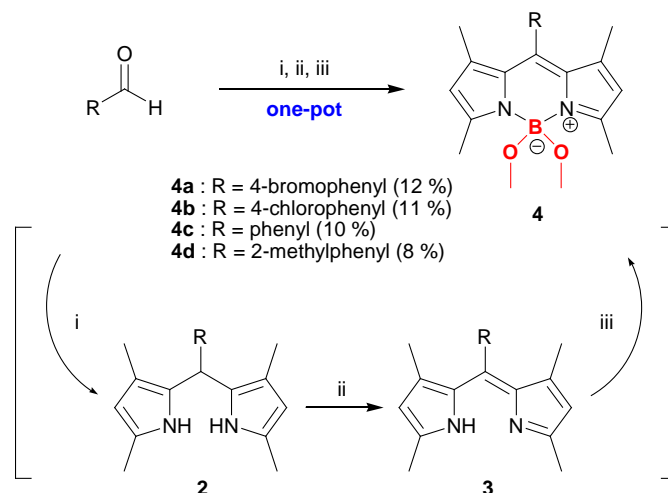
As shown in scheme 1, the BODIPY derivatives C-BODIPY, E-BODIPY, and O-BODIPY, which are different from each other in terms of the substituents on the boron atom, are always prepared from the parent, F-BODIPY, and different nucleophiles via nucleophilic substitution reactions. In other words, at least two steps are required to synthesize these BODIPY molecules. Herein, we propose an alternative one-pot method for synthesizing the O-BODIPY framework. In our synthesis, the target O-BODIPY molecules were prepared directly from pyrrole, aldehyde, and trimethyl borate in one flask. This straightforward approach allowed us to shorten the reaction procedure and reduce the reaction time by not isolating the F-BODIPY intermediate, which was a necessary step in the traditional synthesis of O-BODIPY.



Scheme 1. Different types of BODIPY derivatives (C-, E-, and O-BODIPY) and their synthetic pathways.

## 2. Results and discussion

The general reaction procedure for the synthesis of 4,4'-dimethoxy-boradiaza-s-indacene by the one-pot pathway is as follows: 2,4-dimethyl pyrrole is reacted with aldehyde under trifluoroacetic acid (TFA) catalysis, which is followed by oxidation of the resulting dipyrromethane with tetrachloro-p-benzoquinone and, finally, addition of triethylamine and trimethyl borate. In this experiment, we used THF as the reaction solvent because tetrachloro-p-benzoquinone has low solubility in  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . We synthesized the well-known compound, '4,4'-difluoro-8-(4-bromophenyl)-1,3,5,7-tetramethyl-4-bora-3a,4a-diaza-s-indacene, in dry THF instead of  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , which is the most commonly used solvent in the synthesis of BODIPY, and found that the yield was much better (33% vs. 18%). Therefore, we selected THF as the solvent throughout the experiment. In addition, the reaction time, temperature, and quantity of the reagents are critical to the success of the reaction. A better yield was obtained when the reaction intermediate, dipyrromethane, was first treated with  $\text{Et}_3\text{N}$  (5 eq). Green fluorescence was immediately observed; this was followed by the addition of  $\text{B}(\text{OMe})_3$  (10 eq) and refluxing for 24 h. Another serious problem encountered in the experiment was that the products were easily hydrolysed during silica gel column chromatography. This problem can be solved by using neutral  $\text{Al}_2\text{O}_3$  instead of silica gel and eluting with ethyl acetate/hexane.



Scheme 2. Synthetic pathway and plausible intermediates in the synthesis of O-BODIPY dyes **4a–4d**. (i) 2,4-dimethylpyrrole, TFA, dry THF; (ii) tetrachloro-*p*-benzoquinone; (iii)  $\text{Et}_3\text{N}$ , trimethyl borate, reflux.

Compounds **4a–4d** were obtained in moderate yield and all of them emitted a green fluorescence (512–516 nm) under excitation at 500 nm. The Stokes shift of these four compounds was not large (11–13 nm), but their fluorescence quantum yields were moderate to high (0.32–0.93). Table 1 lists the spectroscopic data of dyes **4a–4d**.

**Table 1.** Absorption and fluorescence data for **4a–4d** in THF.

dye	$\lambda_{\text{max}}/\text{nm}$	$\lambda_{\text{em}}/\text{nm}^{\text{b}}$	$\Phi_{\text{F}}^{\text{a}}$	Stokes shift /nm
<b>4a</b>	504	515	0.47	11
<b>4b</b>	504	516	0.32	12
<b>4c</b>	500	513	0.48	13
<b>4d</b>	500	512	0.93	12

<sup>a</sup> 3-(2-benzothiazolyl)-7-(diethylamino) coumarin (coumarin-6) in THF ( $\Phi_{\text{F}} = 0.99$ ) as the reference.

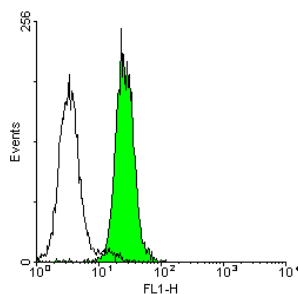
<sup>b</sup> Excited at 500 nm.

The significantly high quantum yield of compound **4d** was attributed to the steric restriction against rotation between the *ortho*-methyl phenyl substituent at C8 and the methyl groups at C2 and C6 of the BODIPY framework. It is well known that steric restriction increases the dihedral angle between the core and the *ortho*-methyl phenyl group and diminishes the excited state energy lost through nonradiative modes, resulting in enhanced quantum yield and blue-shifted absorption and emission.

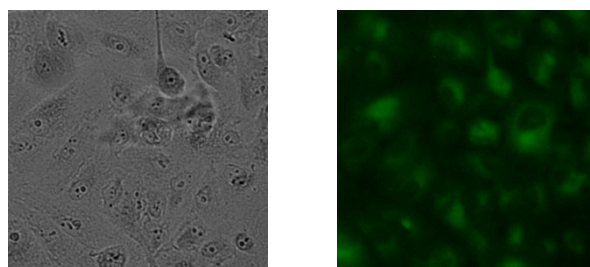
Because of its high quantum yield, compound **4d** is thought to have potential applications in bioscience. It has the highest quantum yield among these four compounds; therefore, it was selected to test its potential to bind cells. U937 cells treated with compound **4d** were detected by



flow cytometry on the basis of green fluorescence on their cell membrane, as shown in Fig. 1. DC2.4 and THP-1 cell lines were also tested, and they showed similar behaviour (Supporting Information). In addition, the intracellular binding efficacy was determined by fluorescent microscopy. Significantly green fluorescence was detected in cytosol, as shown in Fig. 2. These data revealed that the fluorescent compound **4d** had the potential for cell labelling applications. In the future, we intend to study accurate targeting of organelles or components of a cell by this dye and modification of the molecular structure to specifically label the desired target.



**Figure 1.** Compound **4d** could bind on cell surface. U937 cells were stained with compound **4d** and then determined the green fluorescent intensities using a flow cytometer with 488 nm excitation.

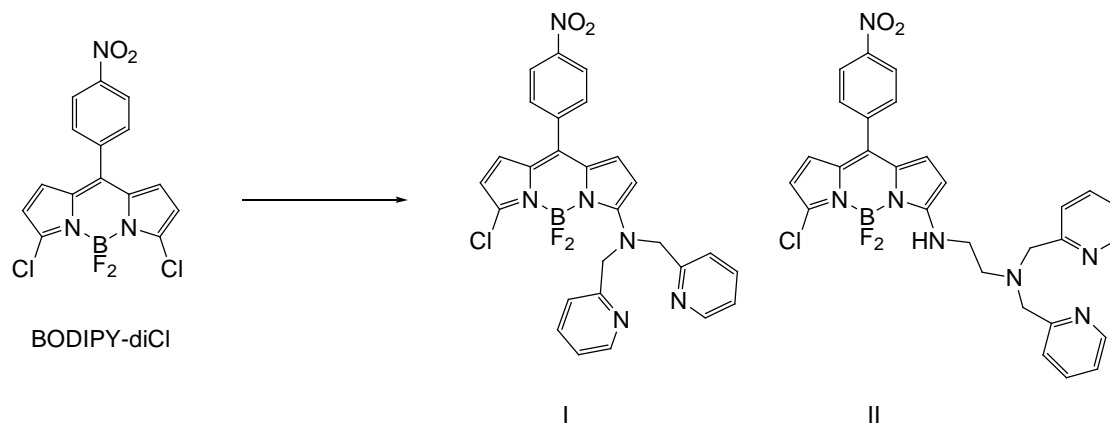


**Figure 2.** Compound **4d** could label intracellular components. The formaldehyde-fixed A549 cells were stained with compound **4d** and the cells were then visualized by using fluorescence microscopy. Magnification 200 $\times$ . Cells were observed with phase contrast (left panel) and fluorescence microscope (right panel).

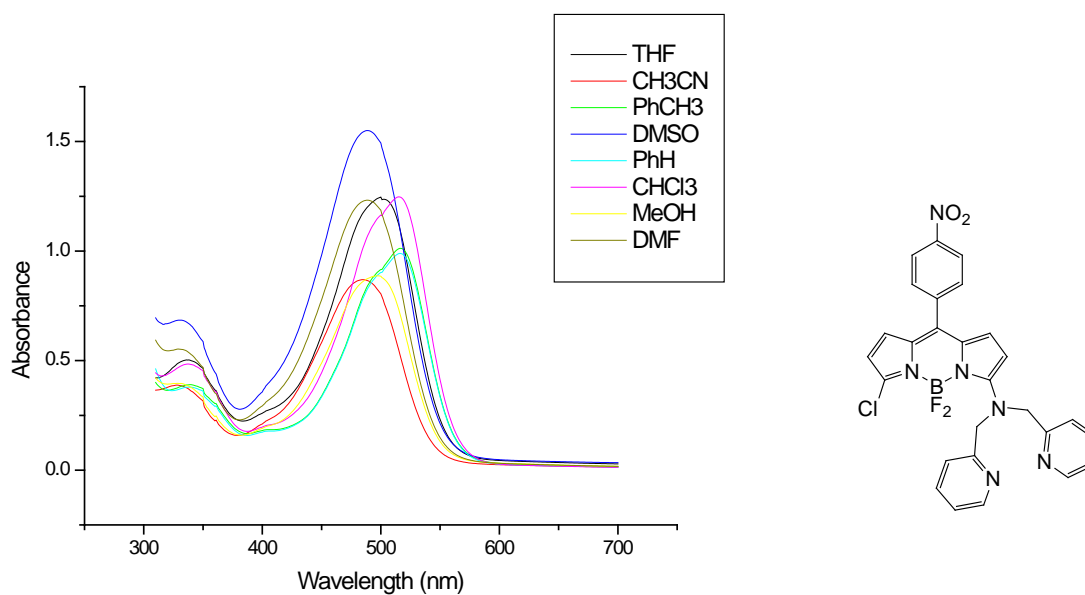
## Conclusions

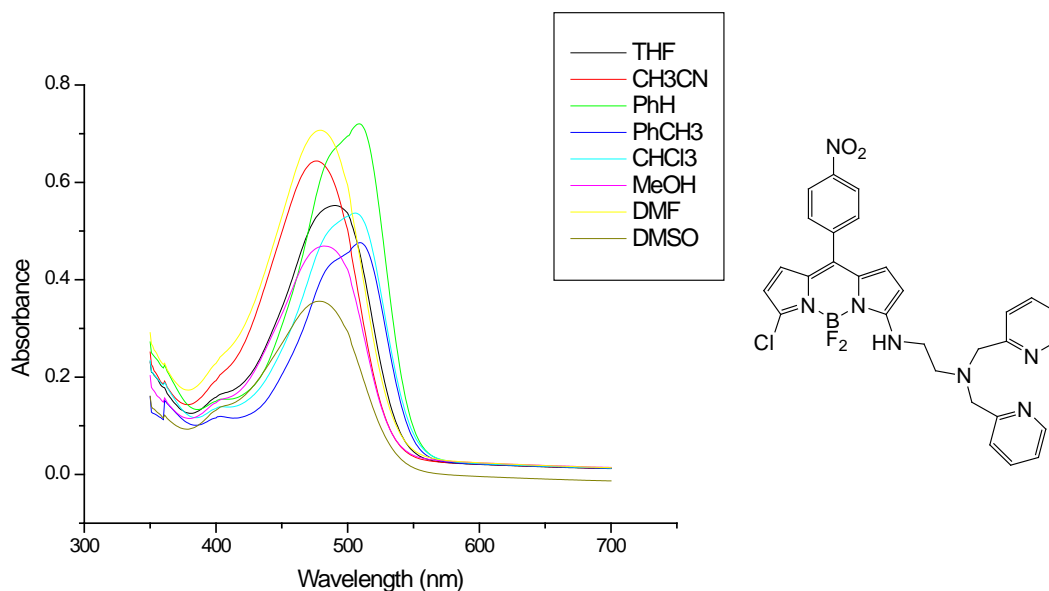
In conclusion, we developed a convenient one-pot procedure for synthesizing new 4,4'-dimethoxy-boradiaza-*s*-indacene dyes **4a–4d**. Among these new dyes, **4d** exhibited a very high fluorescence quantum yield. The proposed approach is an efficient, straightforward, and versatile way of synthesizing a new class of fluorescent BODIPY dyes with potential applications in biochemistry and molecular biology.

II. 我們亦合成了兩個基於BODIPY的化合物I及II，合成方法如下所示，利用pyrrole與4-nitrobenzaldehyde作用，再經氯化、氧化反應，最後鍵結上BF<sub>2</sub>，即可得到BODIPY-diCl，此化合物可進行S<sub>N</sub>Ar反應，轉變為I及II。



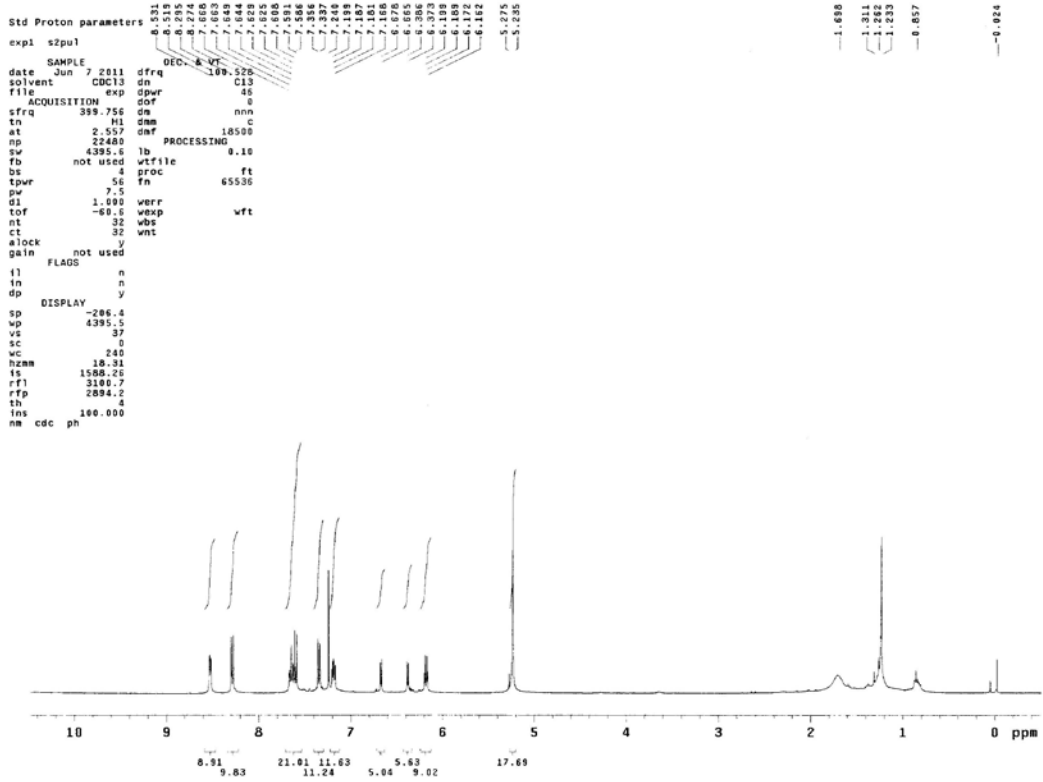
我們已對此二化合物進行在不同溶劑下的吸收光譜量測，也已計算了消光係數(如下圖所示)，我們發現，此二化合物在低極性的溶劑下具有較長波長的吸收，而化合物I的吸收比II大約多了10 nm，消光係數則是都不錯(大於20000 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>)，後續將進行螢光量測及金屬離子感測實驗並試圖養晶了解實際晶體構造，這對未來的分子設計相當重要。



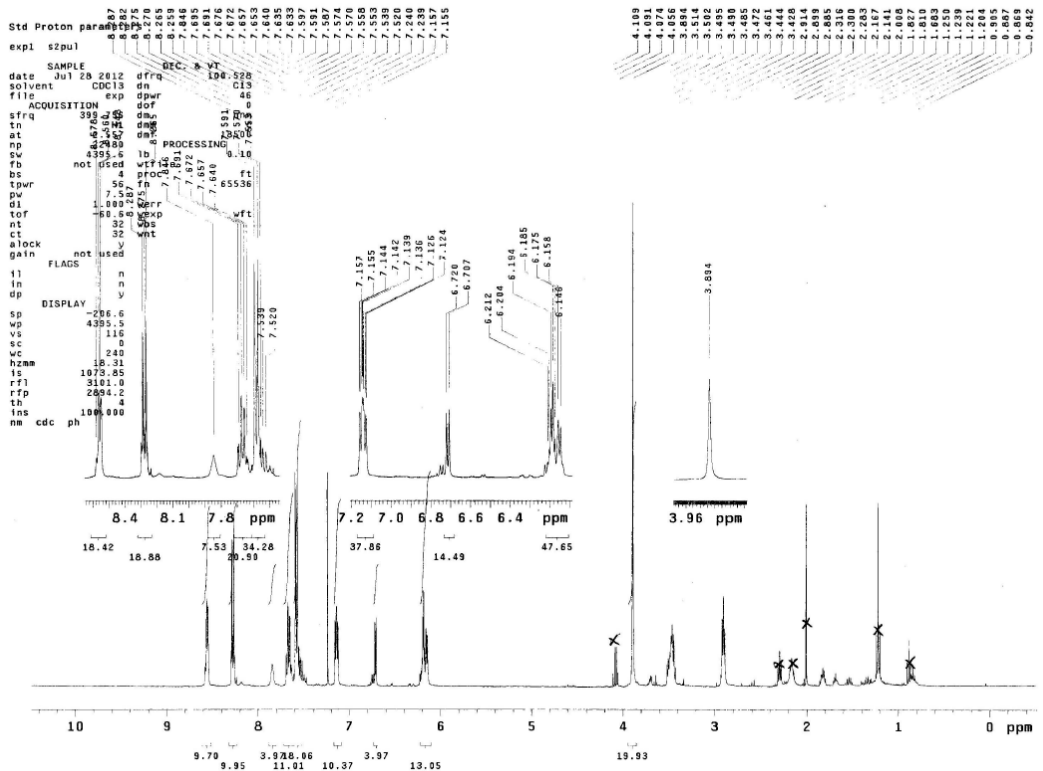


absorption	Compound I nm	Compound II nm	$\epsilon$ (I) (M <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )	$\epsilon$ (II) (M <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )
CH <sub>3</sub> CN	485	476	28977	25758
DMF	489	479	20195.74	28285.2
DMSO	489	479	30996.8	14236
MeOH	497	482	16123.64	18766.8
THF	500	491	24920.8	22095.6
CHCl <sub>3</sub>	515	506	24455.88	21473.6
PhH	516	509	19397.06	28812.4
PhCH <sub>3</sub>	517	509	19846.08	19045.6

附錄



化合物 I 之氫核磁共振光譜圖



化合物 II 之氫核磁共振光譜圖

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/29

國科會補助計畫	計畫名稱: BODIPY類衍合物之合成與應用研究
	計畫主持人: 趙啟民
	計畫編號: 99-2113-M-040-003-MY2      學門領域: 有機化學
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：趙啟民		計畫編號：99-2113-M-040-003-MY2					
計畫名稱：BODIPY 類衍合物之合成與應用研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	1	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

科 教 處 計 畫 加 填 項 目	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

## 1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

本兩年期計畫因執行計畫所產出之研究成果已有一篇學術期刊論文發表(Tetrahedron. 2011, 67, 7919-7922.)。而在計畫內容上尚有部分實驗遭受困難，故進度有些落後。

## 2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：(以 100 字為限)

本研究計畫部分成果已發表一篇學術期刊論文，也在化學年會(100 年)上有海報張貼。

## 3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

在學術貢獻上，本計劃預計合成以 BODIPY 為主體的具有活性氧物質感應能力的探針，最終目標是偵測到 mitochondria 內 hROS，提供一個良好的材料工具，幫助生理學家或相關領域專家更清楚 hROS 在生物體中的作用機轉及對生物體真正的影響。

在其他應用方面，BODIPY 其實可以應用於光敏增感型太陽能電池中當作是光敏材料，不過它的需求就不同於用於生物分子的檢測上，比如它就不能是水溶性、最好在可見光區吸收度大等，我們可以在本計劃的研究過程中同時找尋合適的材料來當作是應用於 DSSC 的可能材料。申請者相信此研究至少尚可再產出 2 篇以上的論文發表。