

C H E M I S T R Y

# 化学

Vol. 61

11

NOVEMBER  
2006

解説 | *Review*

## いま注目される 第4世代放射光源SASE



解説 | *Review*

## バイオエタノール燃料の 最新技術と課題

解説 | *Review*

## 化学で解き明かす 味覚の秘密

## 解説

## 30 いま注目される 第4世代放射光源 SASE

——バイオ研究を躍進させる新しいレーザー——

フェムト秒レベルの極短時間大強度パルス光を発生させる SASE は、バイオや物質科学の分野で注目されている自由電子レーザーである。新しい放射光源である SASE の発生原理と実用化に向けた研究の動向を紹介する。

磯山悟朗



理化学研究所の軟 X 線 SASE 装置  
(写真提供：新竹 賢氏)

## 12 バイオエタノール燃料の最新技術と課題

坂 志朗

——さらなる普及に向けて化学者ができること

石油代替燃料としてバイオ燃料への期待が高まっている。なかでもとくに注目を集めているバイオエタノールについて、その製造の最新技術の概要と、実用化に向けた課題、化学者に求められている寄与を解説する。

## 短報

## 38 ノーベル化学賞受賞者

### Peter Debye への非難の声

——死後 40 年を経て問われる戦争と科学者のかかわり  
Anthony T. Tu

Debye-Hückel 理論で有名な Peter Debye 博士。1936 年にはノーベル化学賞の栄誉に浴している。没後 40 年を迎える今年、彼に対する大きな非難が欧米で巻き起こった。その理由とは…?!



## 解説

## 18 化学で解き明かす味覚の秘密

——「おいしさ」「まずさ」を感じさせる物質とは？

味覚の秋。おいしいものが豊富なこの季節は、つい食べ過ぎてしまうこともあるだろう。この「おいしさ」を感じさせるしくみと、それにとりもなう摂食の促進作用を化学で解き明かしていく。

山本 隆



今月の 1 枚  
海洋から単離された細菌菌 (→ p.27)

## 好評連載

### 40 やさしい化学統計力学講座⑩

統計力学から見る相転移

田中一義

### 25 他分野でいま何が話題？【海洋学】

海のなかの意外なタンパク質と細菌

木村一啓

11 私たちが化学者になった理由 発見の醍醐味に勝るものはなし！

22 化学漫遊記 和歌山 神々と科学者の国

36 超★英語勉強術 書かないから習けない——むけないから書く

50 ヒットの秘訣 Beautiful GZOX リアルガラスコート(ソフト99)

53 海外の研究聖地巡礼 イェール大学 ハートウィグ研へようこそ！

44 ぼくらの科学リテラシー こたえてナンボ

45 化学ナンバードレイス

46 化学の本だな 書評・今月の 1 冊・読書のススメ・新刊紹介

72 化学博覧会 新聞に載った注目記事(9月)

74 編集部から

### 2006 年の化学 最新のトピックス

【注目の論文】

58 穏和な条件で一酸化炭素のオリゴマー化に成功

59 電子輸送性材料構築のための新コンセプト

61 生体にならった安息香酸からのピアリール合成

62 単原子層グラフェン電子デバイスの実現

【最新レビュー】

64 SP 炭素のみからなるポリマー

66 有機ホウ素化合物の新規材料への展開

68 第三級アルコール合成のプレークスルー

70 超高温放射線照射器の開発における材料化学の挑戦



マンダライの花  
(→ p.24)

# 超高速放射線検出器の開発における材料化学の挑戦

Koshimizu Masanori<sup>1</sup> 越水 正典<sup>1</sup> · Shibuya Kengo<sup>2</sup> 澁谷 憲悟<sup>2</sup>  
Asai Keisuke<sup>1</sup> 浅井 圭介<sup>1</sup>



シンチレータ (scintillator), 励起子 (exciton), 量子閉じ込め効果 (quantum confinement effect), 量子井戸 (quantum well), 自己組織化 (self-organization)

PET (positron emission tomography; 陽電子放射断層撮影) 診断という言葉をご存知だろうか。最近ではワイドショーなどでも取りあげられている、最新のがん検診手法である。最先端の医療装置というと、巨大な筐体のなかに包まれた、膨大な数の電子回路が想像されるが、実はこの医療装置の心臓部には、「シンチレータ」という結晶がずらりと並べられており、この結晶の性能こそが装置全体のパフォーマンスを決定するという重要な役割を果たしている。ここではシンチレータ開発に関する膨大な数の論文から、近年注目されつつある新たなカテゴリーの材料として、半導体系シンチレータについて紹介する。

## 従来型のシンチレータ材料とその性能の限界

シンチレータとは、放射線が入射した際に発光する材料のことである。放射線が入射したときに放出される光を、光電子増倍管などの受光素子で検出すると、図1に示すような検出信号が得られ、その信号の解析により放射線の到来した時刻や位置、そのエネルギーなどの情報が得られる。位置やエネルギーについてより正確な情報を得るためには、放射線によってシンチレータに付与されるエネルギーが、より効率よく発光のエネルギーとして変換されることが望ましい。また、放射線の到達

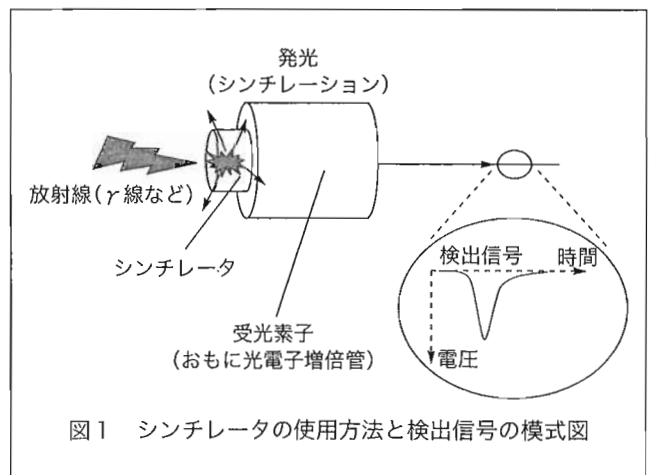


図1 シンチレータの使用法と検出信号の模式図

した時刻をより正確に知るためには、発光の寿命がより短く、単位時間当たりに放出される光子数がより多いことが望ましい。これは、信号に寄与する光子数が多いほうが、到達時刻を決定する際の統計誤差が減少するためである。より短い発光寿命が要求される点は、ほかの一般的な発光材料の性能評価指標とはまったく異なる。

現在主流となっているシンチレータ材料は、透明結晶に発光

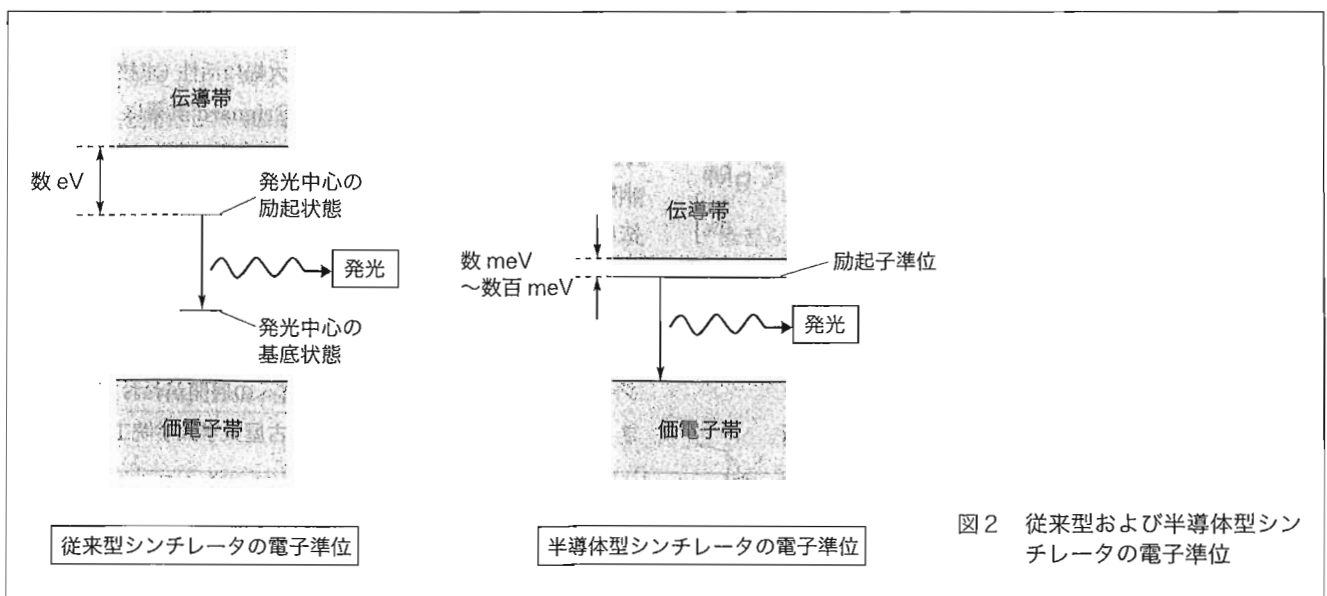
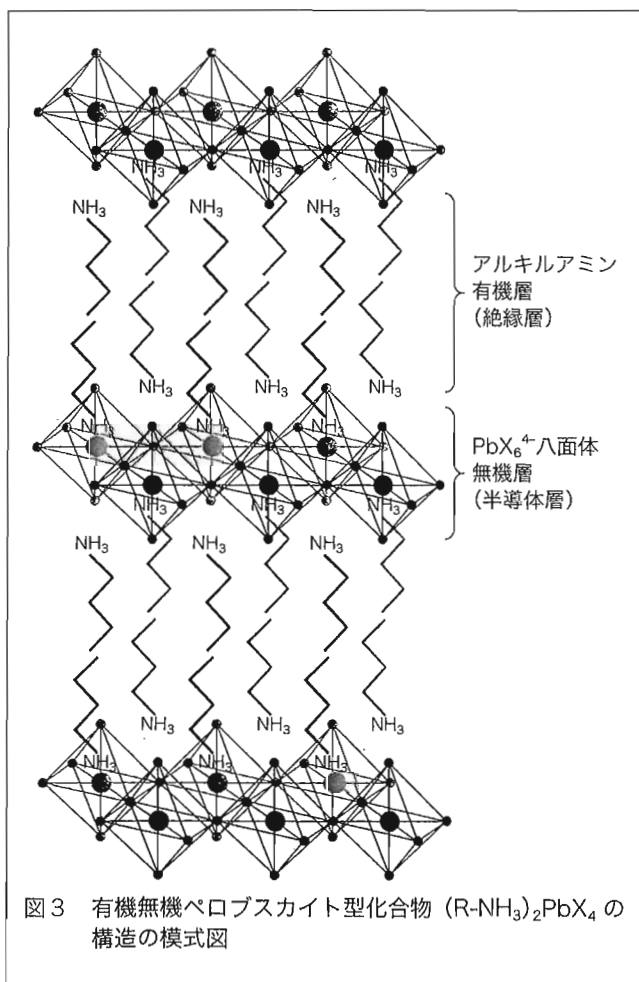


図2 従来型および半導体型シンチレータの電子準位

中心として希土類元素を添加したものである。とくに  $Ce^{3+}$  を添加したものについては、数多くの結晶材料が開発されてきており、実用化されたものも少なくない。しかし、不純物元素を発光中心として利用したシンチレータについては、理論的にその性能の限界が指摘されており、そのかわりとして、半導体中の励起子からの発光を利用することが提案されている<sup>1,2)</sup>。両者における電子準位を模式的に図2に示す。放射線の入射によって結晶中で生成した電子-正孔対は、従来型シンチレータの場合には、発光中心となる不純物サイトまで移動し、その不純物原子の電子を励起する。その後、発光中心の励起状態からの発光が起こる。一方、半導体型シンチレータの場合には、電子-正孔対は、電子と正孔との束縛状態である励起子を形成し、この励起子が直接再結合することで発光が起こる。

しかしながら、半導体中の励起子発光を利用したシンチレー



タ開発は容易ではない。実際、いくつかの有力な半導体材料について、そのシンチレータとしての性能評価が行われたものの、極低温でのみ十分な性能が得られるという結果が報告されてきた<sup>3~6)</sup>。これは励起子が室温においても安定に存在し、発光するために十分な束縛エネルギーをもっていないためである。

### 量子閉じ込めを利用した半導体シンチレータ

筆者らの研究グループでは、量子閉じ込め構造の構築により、高効率の励起子発光をシンチレーションとして取り出すことに成功した<sup>7)</sup>。利用した物質は、有機無機ハイブリッド化合物の一種であり、有機物と無機物が交互に積層したペロブスカイト型構造を形成することが知られている。この物質の一般式は  $(R-NH_3)_2PbX_4$  (Rは直鎖アルキル、Xはハロゲン) であり、図3に示されるように量子井戸構造が自然に形成される。この物質の単結晶のシンチレーション特性を調べたところ、従来型シンチレータよりもはるかに高速な応答を示すことがわかった<sup>8)</sup>。また、発光効率が室温付近においても顕著な減少を示さず、シンチレータとして十分実用可能なレベルであることが示された<sup>9)</sup>。これら一連の論文による成果は、量子閉じ込め効果を利用することによって、文献1,2における提案を最もドラスティックなかたちで実現したという点で特徴的である。すなわち、量子閉じ込め効果に起因する大きな励起子束縛エネルギーによって室温においても高効率な励起子発光が誘発され、なおかつ、励起子の巨大な振動子強度のために発光が高速になるという点である。そのうえ、ほかの半導体量子井戸構造の作製法と比較し、著しく簡便な手法で作製が可能であり、自己組織化によるナノ構造を利用することにより、ナノ構造の単結晶が得られるという利点もある。また最近では、半導体超微粒子をガラスにドーブしたシンチレータの作製が試みられており、半導体量子ドットを用いた新たな材料開発の展開も始まりつつある<sup>10)</sup>。

ここに紹介した半導体量子閉じ込め構造を利用したシンチレータの開発研究は、材料化学と物性物理とが密接に関連して発展を遂げてきたナノ材料開発とその物性の解明という、近年のナノサイエンスの大きな柱である分野の成果を受けて開花したものである。その点において、学際領域へと発展する化学の大きなポテンシャルの一端を示すものであるといえる。

【1 東北大学大学院工学研究科, 2 放射線医学総合研究所】

- 1) J. Wilkinson, K. B. Ucer, R. T. Williams, *Radiat. Meas.*, **38**, 501 (2004). 2) J. Wilkinson, K. B. Ucer, R. T. Williams, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, **537**, 66 (2005). 3) S. E. Derenzo, M. J. Weber, M. K. Klintonberg, *ibid.*, **486**, 214 (2002). 4) S. E. Derenzo, M. J. Weber, E. Bourret-Courchesne, M. K. Klintonberg, *ibid.*, **505**, 111 (2003). 5) M. K. Klintonberg, M. J. Weber, D. E. Derenzo, *J. Lumin.*, **102-103**, 287 (2003). 6) S. E. Derenzo, E. Bourret-Courchesne, M. J. Weber, M. K. Klintonberg, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, **537**, 261 (2005). 7) K. Shibuya, M. Koshimizu, Y. Takeoka, K. Asai, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, **194**, 207 (2002). 8) K. Shibuya, M. Koshimizu, H. Murakami, Y. Muroya, Y. Katsumura, K. Asai, *Jpn. J. Appl. Phys. Part2 (Express Letter)*, **43**, L1333 (2004). 9) K. Shibuya, M. Koshimizu, K. Asai, H. Shibata, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 4370 (2004). 10) S. E. Létant, T.-F. Wang, *ibid.*, **88**, 103110 (2006).