

# ■新しい放射線計測原理の確立に向けて

量子計測研究グループ ■中 沢 正 治■

## For New Principles of Radiation Measurements

Masaharu NAKAZAWA

Research Group for Quantum Radiation Measurement

Here are described topical subjects and present status of “Quantum Radiation Measurement” research group. The key words in this research are “Laser”, “Fiber Optics” and “Superconductivity Device”, and using them new principles of radiation measurements are investigated such as “self-powered neutron detection using nuclear pumping”, “developments of radiation resistant fiber optics up to  $10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> and  $10^9$  Gy” and “X-ray spectrometer developments of ultra high energy resolution using the superconducting tunnel junction device”.

「レーザー」, 「光ファイバー」, 「超伝導」, 落語で言えば, 新しがり屋の三題咄しのようなものであるが, 本グループで進めている新しい放射線センサーの開発上のキーワードがこの3つである。以下, 本研究グループの現状と目標を紹介する。

1995年は, エックス線発見100年目にあたる。この間の量子科学分野の革命的な展開とその恩恵に浴したことは, 同時代人として幸せに感じる人が多いと思う。また, この間に, 核分裂の発見とその利用以外にも種々の放射線, 量子ビームの開発, 高品質化が進んできたが, 放射線計測はそれに見合う程度に十分に発展してきたであろうかというのが計測屋の自問である。現状の放射線検出器は, 古典的なガイガー管やシンチレータ, 半導体検出器と各時代の科学を支えてきてはいるが, 他のセンサー, 例えば人間の眼の機能やカラーTVカメラに比べてみると, 現在の放射線センサーがとても貧弱に見えることもある。そこで, 新しい量子現象としてのレーザー, 超伝導や新素材としての光ファイバーを用いて, 新しい放射線計測原理を追及しようというのが本グループの出発点である。

### 1. 核励起レーザーによる中性子計測

本研究は, 例えばHe-Neレーザー管(市販品でも通常Heとして, He-3が入っている)を原子炉内に入れて, 中性子照射のみでレーザー発振する中性子検出器を作ろうとするものである。<sup>3</sup>He-Neレーザー管の核励起について今までにわかっていることは次の通りである。

- ① 10 mTorr程度のレーザー管に熱中性子を $10^9$  n/cm<sup>2</sup>・sの強度で照射すると, レーザー発振開始電圧が60%程度まで低下する。(これは, <sup>3</sup>He(n, p)T反応によるpとTがレーザーガスを電離し, 放電開始電圧が減少したためで, 中性子がレーザー発振用のエネルギーを供給しているのではないと考えている。)
- ② 中性子照射中のHe-Neガスセルに外部から632.8 nm He-Neレーザー光を通過させると僅かではあるが, レーザー光が増幅されて出てくる。(Neの3p-3s間の逆転準位は中性子により生成している)

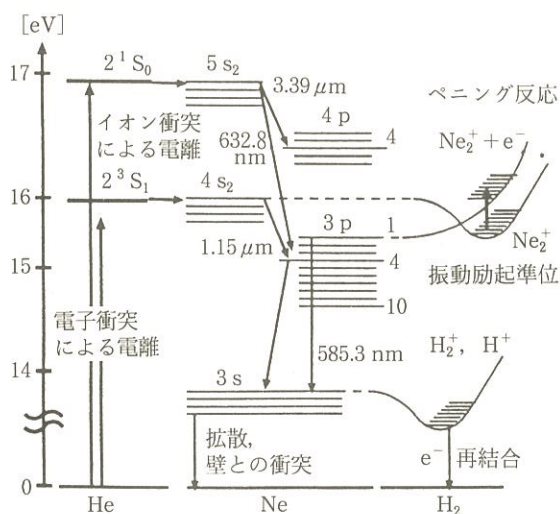


図1 He-Ne-H<sub>2</sub>系エネルギーダイアグラム

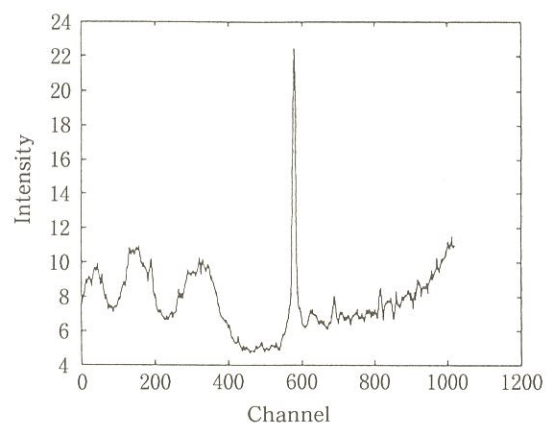


図2 He-Ne-H<sub>2</sub>ガス系の中性子照射による発光スペクトル

③ He-Ne レーザー管は封入可能ガス圧が 10 mTorr と低いので、中性子感度は低い。また、文献によると<sup>3</sup>He-Ne ガスの核励起レーザーは、中性子束  $2 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  以上で可能と言われたが、それは現在否定されている。

当グループでは、上記③の理由で He-Ne にさらに Ar ガスまたは H<sub>2</sub> ガスを加えた 3 成分ガス系について取り組んでいる。この場合、<sup>3</sup>He ガスは 3 気圧程度まで封入でき、中性子感度が上がるからである。H<sub>2</sub> ガス添加のときのエネルギーダイアグラムを図-1<sup>1)</sup>に示し、中性子照射に伴う発光スペクトル測定値を図-2<sup>2)</sup>に示した。このガス系のレーザー発振波長である 585.2 nm の発光は観測されているが、一方、シミュレーション計算によると、このガス系の発振しきい値は、 $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  とかなり高いので、このままでは難しいと予測された。そこで、上記①の結果を思い出し、通常のガイガー管とレーザー管を併用したシステムの検討を並行して進めている。これは古典的なガイガー管の動作原理であるガイガー放電を用い、レーザー発振に必要な中性子束を何桁も下げようとするものである。このことについては、次回に詳述したい。

## 2. 原子力用光ファイバーの開発

光通信等へのファイバーの普及は目覚ましく、日本はファイバーの最大生産国である。ファイバーは通信以外にも、温度、圧力、流量等の計測分野、特に OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) 法により各プロセス量の空間分布の瞬時計測に利用されている。例えば、長さ 2 km にわたる温度分布が  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  の精度で数分以内に測定できる。しかし、光ファイ

バーを原子力に適用しようとするとき、その放射線損傷が最大の難点であった。

ファイバー中のガラスのような非晶体に対する放射線損傷は現象論的モデルに基づく検討がなされている。そのモデルでは従来、ファイバー材中のコア部分の OH 基の制御が放射線特性に良好と言われていたが、これをフッ素混入にしてみたところ、桁違いに耐放射線特性が改善されることがわかった。具体的に数値で示すと、材料試験炉 JMTR の炉心内照射において中性子フルエンス  $10^{19} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線 250 MR 以上まで使用できる光ファイバーが開発された。これは従来ファイバーに比べ、3~4 桁も放射線に強くなったことになる。

現在、さらに改良中で、さらに 2~3 桁は向上できる予定であるが、少なくとも原子炉内を光ファイバースコープで眺めたり、放射線環境下で光ファイバーによるプロセス量計測が可能な状況になった。このことを基礎にして本グループでは、「光ファイバーの量子計測への応用」ワークショップ (平成 6 年 7 月 28 日、東京) を開催し、原子力用光ファイバーの時代が始まりつつあることを、むしろ始める必要のあることを 70 名の参加者とともに実感している。

## 3. 超高分解能の超伝導型放射線検出器の開発

放射線検出器のエネルギー分解能が一桁良くなると、自然現象の微細構造が次々と見えてくる。1950 年代の NaI (Tl) シンチレーション検出器、1960 年代から始まった Ge や Si の半導体検出器は、それぞれ原子核崩壊図式を 10 倍から 100 倍も精密にしてきた。現在、専門家の間で次に期待されているのが、超伝導材

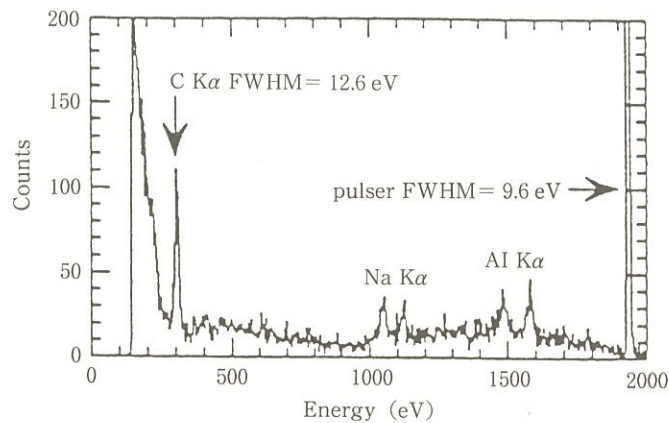


図3 Al/AIO<sub>2</sub>/Al 超伝導トンネル接合検出器による炭素 K-  
X 線スペクトル測定例 (LLNL グループ)

を用いた放射線測定器である。これを用いると原理的には半導体検出器よりも 30 倍もエネルギー分解能が向上する可能性があると言われている。

当グループでも約 1 年前より、Nb/AIO<sub>2</sub>/Nb トンネル接合素子を用いてこの超伝導型検出器の開発に取り組んでいる。開始したばかりであるが、現在 Fe-55 線源のエックス線 (5.9 KeV) に対し、約 90 eV の半値幅で測定できる。現在使用されている Si 半導体検出器が原理的に到達可能な半値幅が約 100 eV であるから、既にこの超伝導トンネル接合素子を用いた検出器は、半導体検出器よりも優れた値を示していることになる。

国内では、本グループ (含東大・工) のほかに、九大・工、電総研、新日鉄、また X 線天文学グループ (都立大、理研など) にて取り組まれているが、2~3 ヶ月前に、米国 LLNL にて炭素の K-エックス線 (282 eV) に対し、半値幅 12.6 eV という驚異的なデータが報告された<sup>3)</sup>。(図-3 参照) LLNL の超伝導検出器は、Al/AIO<sub>2</sub>/Al というトンネル接合素子を 0.3 K に冷却して使用したものである。また、この値は、当グループのデータと比較すると 2~3 倍良い結果となっている。

このように、C, N, O などの特性エックス線が容易に測定できるようになると、有機物質、生体物質中の C, N, O などの元素分析が電子顕微鏡や XMA や PIXE で可能になり、生命科学分野に大きなインパク

トをもたらすものと想定される。また、このように優れた分解能でのエックス線測定は、シンクロトロン放射光という高品質、高強度の量子ビーム線源の応用開始時期にふさわしいレベルのエックス線測定器になり得るものと考えられる。

本研究推進には、良好な超伝導トンネル接合素子製造が 1 つのキーポイントになっている。普通の超伝導トンネル接合素子を利用しても測定器として動作しないことはわかっているが、その信号形成のメカニズムについてもさらに追及が必要である。国内外の研究グループ、メーカーとも連携して、完成させたいと考えている次第である。

## 参考文献

- 1) Batyrbekov, E. G., "Direct and Combined Nuclear-Pumped Lasers", Private Communications.
- 2) Nakazawa, M. et al., "An Optical Self-Powered Neutron Detector Using Nuclear Pumping", IEEE-NS, (Norfolk), Nov. 1994 (to be published).
- 3) Labov, S. E. et al., "Low-Energy Response of Superconducting Tunnel Junction X-ray Spectrometers", IEEE-ASC (Boston) Oct., 1994 (to be published).