

時の彼方からよみがえるウランガラスの輝き

弱電離気体中に置かれたウランガラスからの蛍光発光

日本原子力研究所・関西研究所・光子科学センターは、物質に超高出力レーザーを集光することでコヒーレントX線の発生や荷電粒子加速の研究を行なう研究機関として設立され、平成11年度からは京都府木津町で活動を続けている(1)。開所に際して式典を催した研究棟のコーポレートスペースには、現在では高解像度カラー液晶モニター(2)が設置されている。このモニター装置は来訪者に対して、超高ピーク出力レーザー光と物質の相互作用に関する数値シミュレーション計算(3)を始めとする美しい映像を毎日上映している。ここでは、上映中のコンテンツの中でも最も神秘的な輝きを放ち、原子力の源流にも関わるウランガラスについて紹介する。

1960年にメイマンにより初めてルビーレーザーの発振が行なわれた(4)。その4年後には液体ヘリウムで冷却された半導体レーザーとウラン3価イオンを含む蛍光結晶を用いて初めて半導体レーザー励起の全固体レーザーの発振が行なわれている(5)。レーザー開発初期におけるこれらの歴史的な成果を更にさかのぼり、ハーンとシュトラスマンによるウラン核分裂の発見が、両刃の剣である原子力の未来を定めた(6)。しかしながら、原子力の源流は19世紀末から20世紀にかけてのベクレルによるウランからのベクレル線の発見、これに続くキュリー夫妻によるラジウムの発見である。ラジウムがウランを取り出した鉱石の層から抽出されたことは良く知られている。では当時、放射線概念すら知られていなかった頃、ウランは何の目的で採掘されていたのか？その用途はガラスの着色の為に添加剤である(7)。当時、チェコスロバキアを中心とするボヘミア地方は、世界でも有数の美術工芸ガラスの生産地であった。植物の灰を利用する古来からのボヘミアガラスの製法は、紫外線により緑黄色に蛍光を発するウランガラスを素材として、様々な作品を生み出していた。当時の人々は、太陽光に含まれる紫外線により励起されるガラス中のウランイオンの蛍光によって、ガラス工芸品が朝昼夕方と輝きを変化させることをこよなく楽しんだ。

一方、X線も電子も発見される以前に、太陽光に含まれる紫外線励起とは異なり、積極的に放電を利用してウランガラスの芸術作品を生み出した人物がいた(8)。英国のJohn Peter Gassiot (1797-1877)は、ガラス製容器の中にウランガラス製のゴブレットを置き、容器内部を減圧し、放電による電子衝突を利用してウランガラスを発光させた。残留する空気とウランガラスからの華々しいエレクトロルミネッセンスの輝きは、多くの人々を魅了したと言われている。しかしカラー写真もない当時、この美しさを今に伝える術は、それを見た人が残した言葉に頼るしかない。今回、多くの人達の協力で、このガシオットの cascades の再現に向けての第一歩を踏み出すことができた。

写真左にガシオットの cascades の習作その1を示す。ここでは、ウランガラス製のワイングラスが真空排気されたガラス容器内部に置かれている。ワイングラスの上下に設けた円形の平行平板の電極には交流電圧がかけられている。ワイングラスの製作には接合用ウランガラスを使用した。現在でも、ウランガラスは熱膨張係数の値が金属とパイレックスガラスの間にあることから、両者の接合に利用されている。真空排気にはロータリーポンプ、放電にはテスラコイルを利用した。写真はモノクロだが、ご経験のある方はガイスラー管による放電実験を思い出して頂きたい。

写真右において、電極近傍のグロー放電領域は青紫色に輝いている。その間のウランガラス製のワイングラスは緑黄色に蛍光を発している。緑黄色の発光は、電子衝突によりガラスに含まれる励起されたウラン6価イオンの発する蛍光である。10Torrほどの低真空度で、赤紫色の放電が始まる。電極の上部からワイングラスの中心に注ぎ込まれるように細い線状の発光が美しい。真空度を上げると、気体の平均自由行程が長くなり、残留気体の発光は徐々にウランガラスの直径一杯に広がる。写真右は、真空度が1Torrとなり、赤紫色の発光が遂にガラスの縁から溢れ出るように広がった瞬間を捕らえている。更に真空度が上がると、残留気体の発光領域はガラス容器全体に広がり、発光強度は徐々に弱まる。最後には、ウランガラスのワイングラスだけが緑黄色に輝くようになる。緑黄色の発光は、ガラスネットワーク構造により、不均一広がりを有し、530nm近傍に第1ピークをもつ。

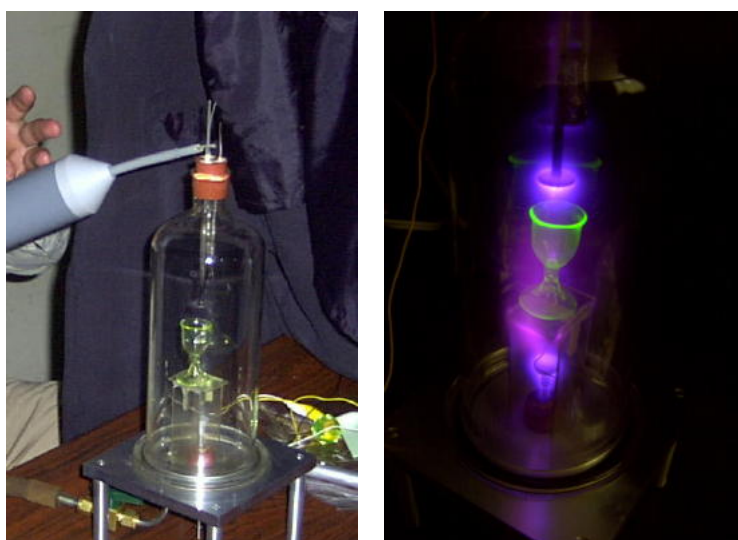
530nmの緑黄色レーザー光線は極めて重要である。例えば、超高ピーク出力レーザーのレーザー媒質のチタンサファイア結晶は、チタニウム3価イオンをアルミニウム酸化物単結晶のサファイアに溶け込ませた人造宝石である。レーザー発振には、この人造宝石を530nmのレーザー光で励起する必要がある。この為、励起用のレーザーの媒質には、ネオジウムを含有させたYAG(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)を1.06 μ mの近赤外線

の波長で発振させ、非線形効果を利用して、波長を半分の 530nm としている。また、緑黄色のレーザー光は、分光分析に欠かせない色素レーザーの励起光源としても重要である。色素レーザーとは、有機色素をアルコールなどの溶媒に溶解させた液体を循環させる方式のレーザーであり、色素と励起光源の組み合わせによって、幅広い波長が発振可能である。特に波長安定化された色素レーザーは、ガドリウムやウラン同位体原子の吸収スペクトルの精密測定に利用された(9)。ランタノイドのネオジウムは原子番号 60 番、アクチノイドのウランは原子番号 92 番、周期律表ではランタノイドの真下のアクチノイドに位置する。ネオジウム 3 価イオンを含む YAG 結晶やガラスは、高エネルギーパルスが発生させる 4 準位レーザー媒質として、現在では最も多用されている。f 電子が決める励起状態のエネルギー準位に、この一致の謎の一部が隠されているかも知れない。このウランガラスが発する美しい輝きは我々にレーザー発振の夢をかき立てる。今後もウランガラスに関する考察を深め、SHD カラー液晶モニターにその輝きを表現して行きたい。

装置製作については、京都タカオシンの高尾正午氏および山田英和氏のご協力を得ました。ウランガラスについては元核燃料サイクル開発機構の堀江水明氏にご教授頂きました。また写真は、東芝電力システム社の吉岡律夫氏によりウランガラス同好会の 2002 年会合で撮影されたものです。

(<http://uranglass.gooside.com/Gassiot/Gassiot.htm>)。

厚く御礼申し上げます。



[参考資料]

- 1) Annual Report of Kansai Research Establishment 1999 October 1, 1995 March 31, 2000, JAERI Review 2001-003
- 2) 伴厚志ほか「超高精細度 TFT 液晶ディスプレイ(28 型 QSXGA)の開発」シャープ技報、47-50、1999
- 3) 例えば、Y. Ueshima et al., “Giga-particle simulation on short pulse X ray generation with ultra-shortpulse relativistic laser”, X ray Lasers 1998, Inst. Phys. Conf. Ser., No.159, pp325-328, 1999
- 4) T.H.Maiman, “Stimulated Optical Radiation in Ruby”, Nature, 187,pp493-494, 1960
- 5) R.J.Keyes et al., “Injection Luminescent Pumping of CaF₂, U₃ with GaAs Diode Lasers”, Appl. Phys. letters, 4 pp50-52, 1961
- 6) 日経サイエンス「核と戦争の 20 世紀」に日本経済新聞社、1997
- 7) 苫米地顕「ウランガラス」岩波ブックサービス、1995
- 8) 例えば、A. Nishimura et al., “Measurement of the Absolute Oscillator Strength of Gadolinium Using an Atomic Vapor Produced by Electron beam heating”, Optics Comm. 110, pp561-564, 1994