



小特集

科学啓発教育とプラズマの世界

3. 「プラズマの世界」の教材例

Examples of Educational Materials in Science Fair "Plasma World"

3.1 プラズマを操る

藤澤 彰英

(核融合科学研究所)

Playing Plasma

FUJISAWA Akihide

National Institute for Fusion Science, Toki 509-5292, Japan

(Received 29 March 2003)

3.1.1 はじめに

現在、プラズマの応用として全世界的に力を入れて研究されているもののひとつに核融合があげられる。核融合研究は、高温高密度のプラズマを十分長い時間、限られた空間の中に閉じ込めることを目的としていて、燃焼プラズマをもうすぐ実現できるところまで来ている。しかし、より優れた核融合炉を実現するためには、まだまだ探究の余地は残っている。上手に「プラズマを操る」ためには多様な研究を積み重ねる必要があり、多くの人々がプラズマに興味をもち独創的なアイデアを出してくれることが期待される。また、そのためのデモンストラーション装置あるいは教材は不可欠なものである。

核融合科学研究所では、一般の人々に核融合研究について理解を深めてもらうため年に一度一般公開を行っている。平成12年度の一般公開では、ドイツのグライフスバルト大学から同大学のラッチャー教授が考案した展示用のプラズマ生成装置を借りてきたが、なかなか(特に研究者の仲間内で?)好評であった。そこで、研究所の一般公開用に似た「くるくる回るプラズマ」装置を製作した。この装置は、応用物理学会主催の「科学と生活のフェスティバル」や他の科学博でも展示されている。

author's e-mail: fujisawa@nifs.ac.jp

3.1.2 「くるくる回るプラズマ」発生装置

「くるくる回るプラズマ」装置では、ちくわ型のガラス管(の身の部分の中)にガスを封じ込め、その両端に封入されている2枚のリング型電極間に高電圧をかけて電流を流し放電することによって、プラズマを生成する。ところで、一方の極板の付近(グランド側)に置いた電磁石を励磁すると、この放電プラズマはくるくと回ることになる。図3.1.1に電磁石を励磁する前の放電プラズマと励磁した時の放電プラズマを比較してある。この写真から明らかに、励磁した場合に放電プラズマの形状は「らせん」になっていて、プラズマが回っていることがわかる。この展示されたプラズマのガラス管の中には数トールのアルゴンガスが封入されていて、ガラス管の両端に見える金属の板(電極)間に約1,000ボルトの高電圧をかけている。したがって、展示する時には、高電圧のかかった電極に触れることのないように注意する必要がある。

なお、この装置は研究所の技術部が制作したものであるが、放電管と直列につないだ外部抵抗(保護抵抗)の抵抗値やガス圧を工夫したようである。また、アルゴンガスではなくネオンガスを使うと、放電プラズマはガラス管全体に拡がるとのことである。ガスの圧力とともに

ガスの種類を変えても放電プラズマの様子は変化するので、教材として作成する時は、ガスの種類や圧力を変えるとよい。また、電極間の電圧なども可変にすると興味深いものになるに違いない。

3.1.3 らせん型プラズマの振る舞い

ガラス管の端に置かれた電磁石を励磁すると、プラズマが回りその形状は「らせん」になる。これは、プラズマに流れている電流とそれに垂直な磁場の強さに比例した力を放電プラズマが受けて回るからである。つまり、磁場のある場所のプラズマが回転するために、プラズマ形状が「らせん」になるのである。電磁石の電流を大きくすると磁場とともにプラズマが受ける力は大きくなり、プラズマはより速く回転を始め、プラズマの「らせん」のピッチは短くなる様子がわかる。「なぜプラズマ全体が回転するのか？」という疑問の一つの解釈は、グラウンド側の極板で生じたプラズマ素片がその領域を離れると正の極板に向かってまっすぐ移動していると考えられることである。こう考えると、プラズマ素片の生成位置が回転したときプラズマのらせんができるはずである。水中に泡発生器(そんなものあるのか、といわないで下さい)を沈めて、その泡の発生する先端がくるくるとまわって

いる情景を想像すると、泡の列がらせんを描いていて浮力のため上昇する姿が思い浮かぶ。ただし、この説明では「クルクル回るプラズマ」ではプラズマ素片がなぜ(正の)反対側の極板に向かって行くのか、という疑問が残っている。

さて、「クルクル回るプラズマ」を見ていると様々な疑問が浮かんでくるのではないかと思う。実際、このプラズマを見ている研究者の間でも様々な議論がかわされた。例えば、「プラズマ柱の太さはなんで決まっているのか?」、「プラズマ柱は2本になることはあるのか?」、「プラズマの回転速度はどのように決まっているのか?」、「ガスの種類をアルゴンから、例えば、ネオンに変えるとどうなるのか?」などである。この装置には、こうした疑問を提供し自由に答えを考えさせる面白さがあるので、推理小説に擬えることができる面がある。推理小説の謎解きには、状況証拠・アリバイを確かめ、物的証拠を探し正しい答えに行きつく必要があるが、同様に科学実験でもこの種の楽しみを中学・高校生の皆さんに知ってもらいたいものである。ただし、物理ゲームのルールを覚えるのには少々骨が折れ忍耐を要することであろう。

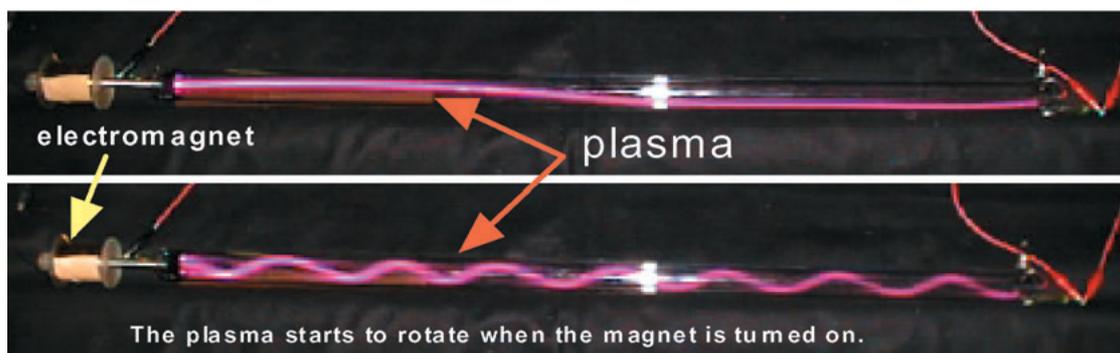


図3.1.1 「くるくる回るプラズマ」の写真。

円柱型のプラズマは電極に高電圧をかけることで生成される(上図)。

グラウンド側に置かれた電磁石を励磁すると円柱型プラズマは、らせん型に形を変え回り始める(下図)。

3 2 エレクトロニクスとプラズマ (ナノテクとプラズマ)

佐々木 浩一

(名古屋大学大学院工学研究科)

Electronics and Plasma (Nano-Technology and Plasma)

SASAKI Koichi

Department of Electronics, Nagoya University, Nagoya 464 8603, Japan

(Received 27 February 2003)

3 2.1 エレクトロニクスおよびナノテクノロジーで活用されるプラズマ

現在、プラズマは極めて多岐にわたる分野で利用されているが、中でも、エレクトロニクス分野におけるプラズマの活用は産業的に最も重要で、社会にもたらす富も多大である。我が国は電子立国である。したがって、電子産業の中でプラズマが重要な役割を果たしていることを社会に広報することは、プラズマのコミュニティにとって極めて重要である。一方、ナノテクノロジーは、重点科学技術分野に選定されており、国などからの投資が拡大している。プラズマ技術は、物質を原子・分子・ラジカルに分解して取り扱うので、ナノサイズの構造物や機能性デバイスの構築（ボトムアップ技術）および加工（トップダウン技術）と相性がよく、ナノテクノロジーの基盤技術として発展する可能性を秘めている。新聞紙上ににぎわす「ナノ」というキーワードにプラズマが深く関係していることを社会に広報することも意義深いと考えられる。とりわけ、これから自分の進路を決めようとする中高生や、自分の未来に無限の可能性を夢見ている小学生の心の中に「プラズマ」という言葉を刻み込み、例えば彼ら（彼女ら）がエンジニアを志すとき、プラズマが先端産業で活用されていることを少しでも思い出してもらうことができれば、そのことによりプラズマのコミュニティが得る利益は測ることができないほど多大であると考えられる。

このような状況を背景とし、「科学と生活のフェスティバル - 夢いっぱいプラズマの世界 -」では、エレクトロニクスとナノテクノロジーに関連した展示を数多く準備したが、これらは、プラズマの性質が理解できる実験を簡単な装置（身の回りのもの）を使って参加者の目の前で実演するタイプと、プラズマを用いて作成された

電子デバイスなどを展示するタイプとに大別できる。前者は、参加者にプラズマを身近なものと感じてもらうのにはよいが、プラズマと先端エレクトロニクスとの関係を明確に理解してもらうことは困難になる。一方後者は、プラズマが先端エレクトロニクスに関係していることを明らかにすることができるものの、先端エレクトロニクスの中でプラズマがどのように活用されているのかに関して実感を持ってもらうことが難しくなる。電子産業の中で、プラズマはデバイス作成のためのツールとして「縁の下力持ち」的に使用されており、半導体製造装置など一部（しかも民生品でないもの）を除いてプラズマそのものが「商品」となることは稀であるためである。国民生活の向上に直接役立っている様々なハイテク製品とプラズマとの関係を参加者に実感してもらえるような展示を限られたスペースと電力の範囲で企画することは簡単でなく、今後の課題と考えられる。

3 2.2 実演型の展示

限られたスペースと電力の範囲で実施する必要があるため、大掛かりな実験は事実上不可能である。逆に、身近なものを用いた実験を実演すれば、参加者（特に子供たち）にプラズマを身近に感じてもらえる効果がある。目の前で実演される実験は写真やビデオの展示に比べて迫力があり、「科学と生活のフェスティバル」でも実験実演ブースの周りには子どもたちがひしめき合っていた。図3 2 1は「炎の中を電気を通そう」で用いられた装置を示している。ロウソクやガスの炎がプラズマであり、プラズマが電気を帯びた性質を持っていることを理解してもらうための実験である。図3 2 1(a)は、電界の中にロウソクの炎をおいたとき、炎が曲げられることを実演する装置である。極めて単純で19世紀から行われている実

author's e-mail: sasaki@nuce.nagoya-u.ac.jp

験であるが、これでも子供たちは大変な興味を示すということが重要である。図3 2 1(b)は、炎の中を電流が流れることを実演する実験である。家庭用のガスコンロを用意し、穴の開いた玉じゃくしを炎に接する程度の位置に置く。玉じゃくしとガスコンロを接続し、途中で電池とネオンランプを配置しておく。ガスコンロを点火しないときには回路が切断されているが、ガスコンロを点火すると炎を介して回路がショートし、ネオンランプが点灯する仕組みである。プラズマの中に電気を帯びた粒子が存在することをテレビショッピングのように説明しながら実演することになる。図3 2 2は「ろうソクの炎から炭素の樹木が出現」で用いられた装置と実験の結果を示している。「炎の中を電気を通そう」と似た装置であるが、今度は、一対の針電極の間にろうソクの炎を置き、針電極の間に高電圧(5 kV 程度)を印加する。正負の針電極の間の距離を適当にし、負電極を炎に接する程度の位置に配置するのがポイントである。電圧を印加すると、炎の燃え方に乱れが生じ、それと同時に、負電極の周囲にすすが集まってくる様子が見られる。すすは静電力で集まるものと見られ、電界の集中する突起部先端に集まりやすいので、しばらく時間をおくと、図3 2 2(b)に示すような樹木状(フラクタル状)の形状を持ったす

すの構造物が出来上がる。すすの中にはフラーレンやナノチューブのような機能性微粒子が含まれている可能性がある(確かめられていない)ので、フラーレンやナノチューブに関する別の展示ブースを紹介し、先端材料と身近な材料の関係や先端材料を作成するときのプラズマの役割などを説明した。なお、通常は、プラズマ中の微粒子は負に帯電しているものと考えられているが、この実験ではすすは負電極の周りに集まる。このことの原因は明らかでなく、「科学と生活のフェスティバル」のために集まった研究者の間でも話題になっていた。これらのほかに、「シャープペンの芯からプラズマができる」として、シャープペンシルの芯に電流を流して赤熱させ、切断される瞬間にアークプラズマが発生する様子を実演する実験が行われた。極めて明るいプラズマができるので、子どもたちには人気があったようである。これらの実験は、日常生活で使用されている物を用いて行われており、参加者にプラズマを身近に感じてもらうのには効果的と考えられる。しかしながら、このことは逆に、参加者が自宅に帰って家庭内で同じ実験を試みる可能性をはらんでいる。参加者が自分で実験を行うことは科学教

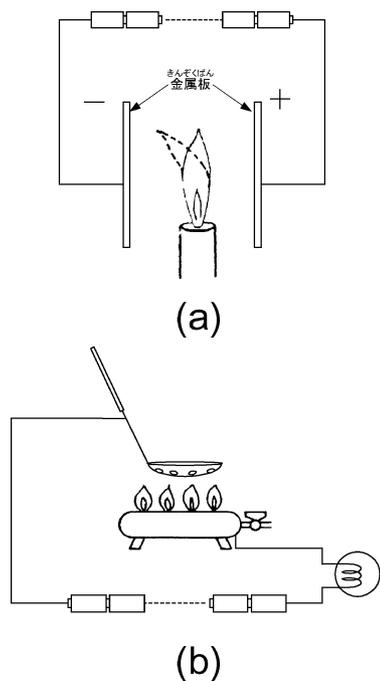


図3 2 1 実演展示「炎の中を電気を通そう」で用いられた実験装置。(a)電界の中で炎が曲がることを示すための実験装置、(b)炎の中を電気が通ることを示す実験装置。

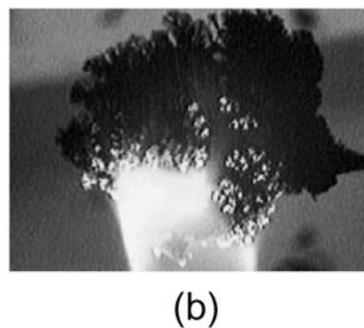
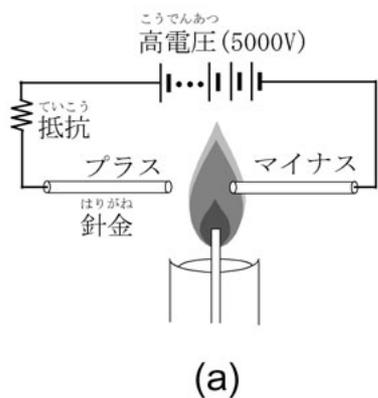


図3 2 2 (a)実演展示「ろうソクの炎から炭素の樹木が出現」で用いられた実験装置、および、(b)実験で得られた樹木状炭素すす。(p 552のカラーの図参照)

育上は意義があるかもしれないが、そのことが原因で事故や火災が生じると大きな問題となる。「科学と生活のフェスティバル」では、家庭内で実験を試みるのがないよう、子どもたちおよび保護者に対して実験の危険性を十分周知するように配慮した。

3 2 3 プラズマを用いて作成された最新電子デバイス等の展示

先端電子デバイスおよび機器の製造においてプラズマが利用されている様子をそのまま展示することが望ましいが、実際にはそれは不可能に近い。したがって、「科学と生活のフェスティバル」では、プラズマが電子デバイス・機器の製造に利用されていることを写真やビデオを用いてできるだけ具体的に紹介するとともに、製造されたデバイスや機器の実物を展示した。具体的には、マイクロマシン、太陽電池、プラズマディスプレイ、発光ダイオード、大規模集積回路 (ULSI)、カーボンナノコイル、カーボンナノチューブ、およびフラレンに関する展示があった。図3 2 3および図3 2 4に、盛況な展示ブースの様子を示す。どのブースでもビデオや写真だけでなく実物が展示されていたので、子どもたちには好評であった。例えば、プラズマディスプレイは街の電気店にも展示されており、家庭への普及も進んでいるが、ディスプレイの発光面を虫眼鏡で拡大して観察する機会はあまりないものと思われる。このような機会に、プラズマが発光する仕組みに関してわかりやすく説明し、プラズマが役に立つ物であることを印象づけることが重要である。ULSIの展示では、デバイスが作り込まれた直径300 mmの最先端ウエハが展示され、その一部を实体顕

微鏡で拡大観察できるようにされていた (図3 2 3)。ULSIは髪の毛よりもずっと細い配線で作られていること、そのような配線を加工するのにプラズマプロセスがなくてはならない道具であることが強調されていた。カーボンナノチューブブースでは、カーボンナノチューブを電子源とするものとしては世界で初めて試作されたフィールドエミッション型蛍光表示管が展示されていた。カーボンナノチューブの作成にプラズマが用いられていること、カーボンナノチューブは身近な材料から作られていることなどが紹介されていた。フラレンのブースでは、ビデオや写真の展示に加え、ピンポン玉を用いてフラレン構造の立体(サッカーボール形状)を組み立てるゲームが企画されていた (図3 2 4)。この種のゲームは子供たちの関心を集めるのに大変有効である。フラレンのような調和の取れた美しい形が眼に見えない微細なスケールで実現されており、それがプラズマによって作られることが子どもたちの心に残ったものと考えられる。

3 2 4 まとめ

「科学と生活のフェスティバル」におけるエレクトロニクスおよびナノテクノロジー関連の展示は概して人気があったと言える。身近なものをを用いたプラズマ実験の実演および先端エレクトロニクス・ナノテクノロジーの展示により、プラズマに親しんでもらうとともに先端技術分野におけるプラズマの役割を理解してもらうという当初の目的はある程度達成されたものと考えられる。今後の課題としては、先端産業の中でプラズマが活用されていることを実感をもって理解してもらえよう実演



図3 2 3 展示「ULSIを見よう」のブースおよびそこに集まる子どもたちの様子。



図3 2 4 展示「原子の世界のサッカーボール」で企画されたゲームに参加する子どもたちの様子。

実験の企画があげられる。これは非常に難しい課題であるが、プラズマ技術の重要性が社会の中で広く認められていくためには必要であり、今後「科学と生活のフェスティバル」と同様な機会があれば、真剣に議論して様々な試みを行うべきと考えられる。

謝辞

本報告で用いた図および写真は木村先生(名工大)、三重野先生(静大)、および木下氏(半導体 MIRAI プロジェクト)からご提供いただいたものである。また、「科学と生活のフェスティバル」の成功は、各展示を企画・準備された担当各位の献身的な努力の賜物であり、ここに改めて厚く御礼申し上げる次第である。

3.3 プラズマでダイヤモンドを作る

広瀬 洋一
(東海大学)

CVD Diamond Crystals Synthesized by Plasma

HIROSE Youichi

Tokai University, Hiratsuka 259-1292, Japan

(Received 15 February 2003)

3.3.1 はじめに

高校生や中学生、または大学2、3年生に、プラズマとはどんなもの、性質は、と質問したら、おそらく返答に窮するだろう。言葉は聞いたことがあっても、イメージが掴めないと思われる。専門家からは厳密な定義ではない、と怒られそうであるが、大雑把であるが、彼らには、発光している、電気が流れやすい、気体である、そういう性質をもっているのがプラズマです、と私は説明している。そして、身近に存在する例として、繁華街のネオンサイン、町工場でのアーク溶接のバチバチ音がする眩い放電の明かり、ローソクやガスコンロの炎、自然界では稲妻(雷は音である)をあげている。さらに、半導体デバイスを作る際に、プラズマが大変役立っていることも話し、プラズマが自分達の身近な存在であることを強調している。彼らは、これらの説明でプラズマのイメージがわくらしい。

プラズマとダイヤモンド合成、一見、全く関係ないように見えるが、燃焼炎プラズマ、または2,000 Kに金属フィラメントを加熱した熱プラズマを利用して、ダイヤモンドが作れるという実験の紹介が、本稿の目的である。

3.3.2 燃焼炎プラズマを利用したダイヤモンド合成

ダイヤモンド合成について簡単に説明する。炭素源であるアルコールや炭化水素のガスをプラズマや熱で分解し、 CH_3 、 C_2 などの炭素系のラジカルを生成させる。これらのラジカルが基板上(基板温度700 ~ 900 K)でダイヤモンドとして成長する。その時、基板付近は還元雰囲気である必要がある。次に、高校の化学の教科書に紹介されている燃焼炎の構造を図3.3.1に示す。通常、炎を形成するには、炭素を含んだガスと空気中の酸素とを化学反応させ燃焼させる。その際、光と熱が発生し、さらに、炎は内炎(還元領域の炎)と外炎(酸化領域の炎)とに分かれる、と説明されている。もし、内炎中に存在する炭素原子が多すぎると、外炎でも CO_2 として完全に酸化されず、炭素の塊(スス)として外炎から吹き出す。例えば、蝋燭のオレンジ色の炎から黒いススが立ち昇るのを見た経験はあると思う。

そこで、上に述べたダイヤモンド合成の条件を燃焼炎プラズマに適用すると、還元雰囲気のプラズマで、炭素が存在する領域、すなわち内炎の中に基板を設置するとダイヤモンドが合成できることに気づく。図3.3.2は、町工場によく見かける金属の切断や溶接に使っているアセチレン-酸素の燃焼炎を用いたダイヤモンド合成の模式図である。合成条件で、特に大切なことは、酸素

author's e-mail: hirose@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

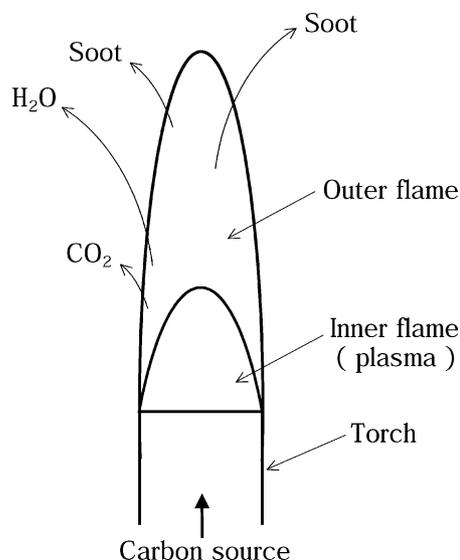


図3 3 1 燃焼炎プラズマの構造

とアセチレンの流量比(O_2/C_2H_2)を0.8以上,そして,1未満にすることである.すなわち,酸素不足の炎,還元炎を作ることがキーポイントである.0.8以下だと,炎からススが発生し,1以上だと炎は酸素過剰の酸化炎となり,ダイヤモンドは成長しない.流量比が0.8から1の範囲で,アセチレンフェザーと呼ばれる白色ながら薄い黄緑色の内炎が形成される.ちなみに,この黄緑色はスワンバンドの名がある有名な C_2 ラジカルからの発光である.このアセチレンフェザー内に基板を設置する.基板は厚さ0.2mmくらいのSi,Mo,TiNなどを使用する.また,基板はペーストで基板保持台(ここでは銅パイプを使用)に接着し,さらに,基板温度は銅パイプに水を流し,適切な温度になるように制御する.そうすると,図3 3 2のように内炎の中に置かれた基板の上にダイヤモンド結晶が高速成長する.慣れてくると,数ミクロンの結晶粒なら5分間程度で堆積する.図3 3 3に,アセチレン-酸素の燃焼炎で作ったダイヤモンド結晶のSEM写真を示す.氷砂糖のような綺麗な結晶がおわかりと思われる.たとえ砂粒のように小さくとも本物のダイヤモンドである.

燃焼炎プラズマを用いたダイヤモンド合成法を「燃焼炎法」と呼んでいる.装置全体の構成も比較的簡単で,基本的には溶接用トーチ1本でよいことから,工業高校,高専,または材料系の学科の学生たちに,この実験を勧めたい.燃焼炎なら,なんでもよいように思われるが,我々は,都市ガス,プロパンガス,天然ガスなどの炎を試みたが,失敗している.原因は,空気中で燃焼させた

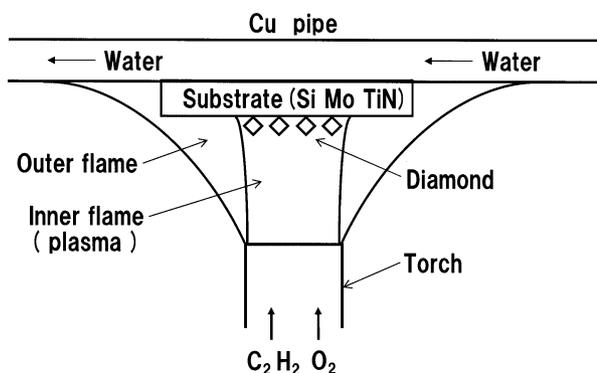


図3 3 2 アセチレン酸素炎を用いたダイヤモンド合成の構成

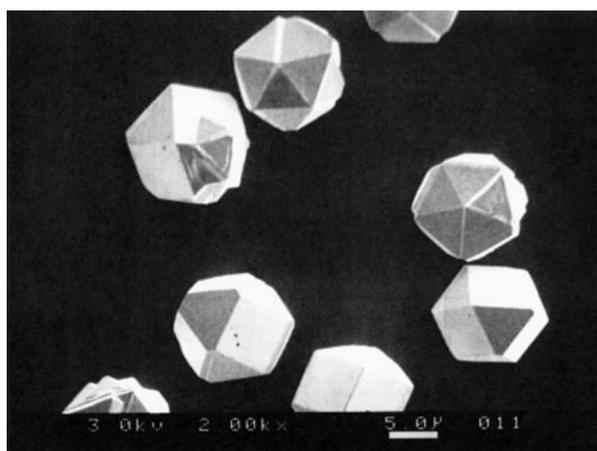


図3 3 3 酸素アセチレン ee0.9で合成したダイヤモンド結晶のSEM写真

ので,炎の温度が低かったと思われる.そこで,炭素系のガスと酸素,例えば,プロパン-酸素炎で実験したところ,見事にダイヤモンド合成に成功した.しかし,最もダイヤモンド合成に適した炎は,アセチレン-酸素炎で,この炎の温度は約3,000である.

3 3 3 加熱フィラメントを利用したダイヤモンド合成

一般的に2,000のフィラメントは高温であるが,熱プラズマの観点からは弱い熱プラズマ状態であろう.図3 3 4に,ガラスの空き瓶を使って組み立てた簡易ダイヤモンド合成装置を示す.装置を組み立てるために準備する部材を述べる.ガラスの空き瓶3個,容量は200~500ml程度が適している.ゴム栓3個,金属管(ここではステンレス管を使用)1本,ガラス管3本,ゴム管2本,ピンチコック(洗濯バサミでも可)1個,Wフィラメントの支持線(直径1mmのMo線)2本,Wフィラ

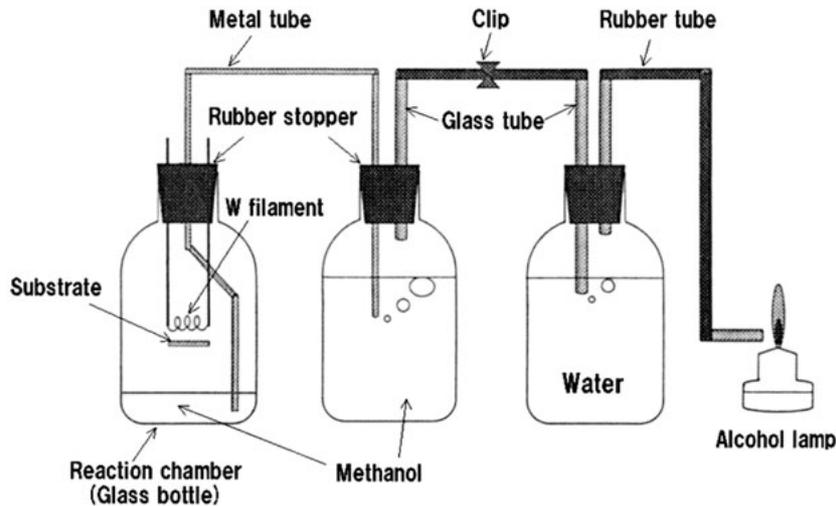


図3 3 4 ダイヤモンド合成に使用する簡易熱フィラメント CVD 装置

メント(直径 0.2 mm の W 線をコイル状に巻いたもの)1 個, 基板(厚さ 0.1~0.2 mm の Si, Mo, W などの板を 5 mm 四方に切ったもの) 1 枚, 基板保持台(針金などで作る) 1 個, メタノール(CH₃OH) 500 ml, アルコールランプ 1 個を準備する.

次に, 実験手順を述べる. まず, 基板, 基板保持台, W フィラメントの取り付けなど, 図3 3 4 のような構成に装置を組み立てる. 左の瓶にメタノールを一杯に満たす(メタノールの注入). なお, 中央の瓶は空で, 右の瓶には水が入っている. 3 個の瓶の口にゴム栓を強く入れる. その時, メタノールが入っている瓶に空気の気泡が残っていないことを確認する. もし気泡が残った状態でフィラメントを点灯させると, 爆発の危険があるので, 空気の気泡が残らないように, 再度, メタノールの注入をやり直す. 安全を確認後, W フィラメントが少し赤くなる(約 1,000)まで電流を流す. そうすると, メタノールが蒸発し, 瓶の上部にメタノール蒸気の空間が出来る. そして, メタノールの液面が徐々に下がってくる. その時, 中央の瓶にメタノールが移動し, 溜まってくる. W フィラメントがメタノールの液面から出たら, 電流をさらに流し 2,000 (裸眼では眩い感じがするので, サングラスで観察するとよい) になるまで白熱させると, W フィラメントの周囲に熱プラズマが形成される. 条件にもよるが, 一般的には 7~10 A, 10~12 V くらいである. そうすると, 炭素源であるメタノールは, この熱プラズマで分解され, H₂, CO および炭素系のラジカル(CH₃, C₂) が生成され, 還元性の雰囲気 が保たれる. これらのラジカルがフィラメント直下に設置された基板上(フィラメ

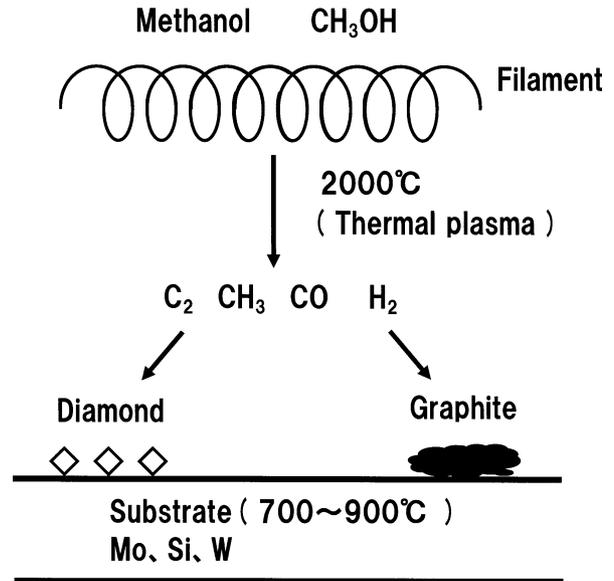


図3 3 5 メタノール気相中での CVD ダイヤモンドの成長メカニズム

ントと基板間の距離は約 1~2 mm) に到達し, ダイヤモンドとして成長する. 図3 3 5に 2,000 の熱プラズマを利用して合成する CVD ダイヤモンドの成長メカニズムを示す. 黒鉛などの非ダイヤモンド炭素は水素ガスによって除去されるので, 基板上にはダイヤモンドのみが成長する. 合成時間を約 1~2 時間程度にすると, 図3 3 3に示したようなダイヤモンド結晶が成長する. この程度の大きさのダイヤモンドは金属顕微鏡の400倍で十分観察できる. 生物顕微鏡では観察が難しい. できれば, 走査型電子顕微鏡で観察するのが最もよい.

ゴム栓などは、高校生でも入手可能な部材である事、装置全体の価格も数百円と非常に安価であること、またアルコールランプなどは高校の理科室にあることから、全国の高校の科学クラブや個人からの問い合わせが多くある。高校生たちが作ったそれぞれの装置には特有のクセがあり、あつという間に合成とはいかないが、粘り強く努力を続けることも必要で、早いグループで2週間、遅くとも2ヶ月くらい頑張れば、合成に成功すると聞いている。努力の末、自分達で作ったダイヤモンド結晶を見た時は、さすがに感動や興奮をするらしい。経験と体

験が、理解を助け、本物の記憶として残るのである。「百聞は一見に如かず」、さらに「百見は一触に如かず」である。

3 3 4 まとめ

燃焼炎プラズマや2,000 Kの熱フィラメントにおける熱プラズマを利用したダイヤモンド合成の方法、装置について紹介した。この2つの方法とも、簡単、安価を特長としている。興味ある読者諸兄は、実験を試みることをお勧めしたい。

3 4 光とプラズマ

岡 島 茂 樹
(中部大学)

Light and Plasma

OKAJIMA Shigeki

Chubu University, Kasugai 487-8501, Japan

(Received 2 May 2003)

3 4 1 はじめに

プラズマは放電で生成でき、特別に高いエネルギーでなければ、可視光を伴うことが多く、見た目に変化が大きい。原子や分子を変えたり、励起準位を変えたりするといろんな色の発光が見られる。子供達はもちろん大人でも光るものには大変関心を持つ。最近では透過型の(フィルム状の)1次元回折格子や2次元回折格子が入手しやすくなっており、それらを利用すると、魅力的な世界をつくり出す実験もできる。したがって、プラズマに関係するイベント会場では放電発光体を用いた展示が多い。発光の原理を知ることより、発光を楽しむことの方が強い。以下にプラズマの発光を利用した実験のいくつかを紹介する。

3 4 2 光らせる

プラズマで光を発しているものは身のまわりに沢山見られる。自然界では太陽光や雷の稲妻が代表的である。人工的なものでは、蛍光灯、水銀灯、ネオンサイン、炎等がある。簡単にはガラス管に水素、ヘリウム、ネオン、水銀等を封入して直流放電しても、電子レンジ等の中で

author's e-mail: sokajima@isc.chubu.ac.jp

高周波放電させても綺麗なプラズマからの発光(図3 4 1)が見られる。また、2種類の原子(例えば、ネオンと水銀)を封入して放電エネルギーを変えて励起準位を変えると一本の放電管で色を変えることができる。よく知られているイグニッションコイルを使って放電させているプラズマボール(図3 4 2)は、単に光らせるだけでなく、手を近づけると放電が手に引ついてくるし、手を叩いたりして音を発すると反応するようにも工夫されており、子供達に人気がある。最近では円筒形のもの、平板状のもの等も出ている。また、電子レンジの中で蛍光灯や電球を光らせたり、炭素棒で三角形や四角形を作って人魂のように光らせたりするのもよく行われる。変わったものでは、ブランデーを瓶の底に少し入れて蓋を閉めて、しばらく激しく振って気化させ、瓶の口の所にライターを近づけると、リング状の綺麗な炎が瓶の口の方から底に向かって降りて行く。これは暗い所で行うと幻想的で楽しめる。名古屋市科学館の学芸員の山田氏は面白い実験を応用物理学会の科学と生活のフェスティバルで展示していた。図3 4 3のような黒い炎である。食塩を入れたアルコールランプを白い背景の前で燃やすと、ナトリウムの炎が得られる。その炎をナトリウムランプで

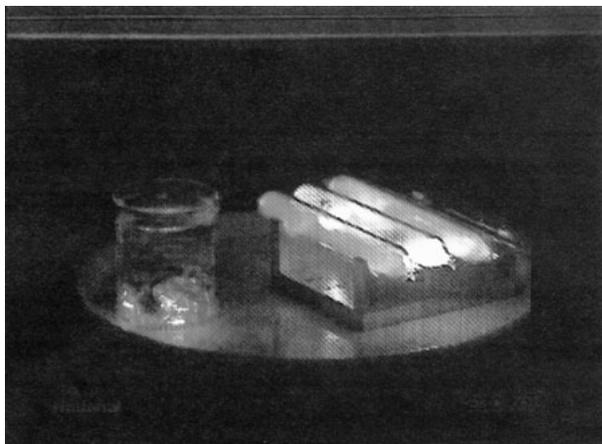


図3 4 1 電子レンジでの高周波放電 (p.552のカラーの図参照)

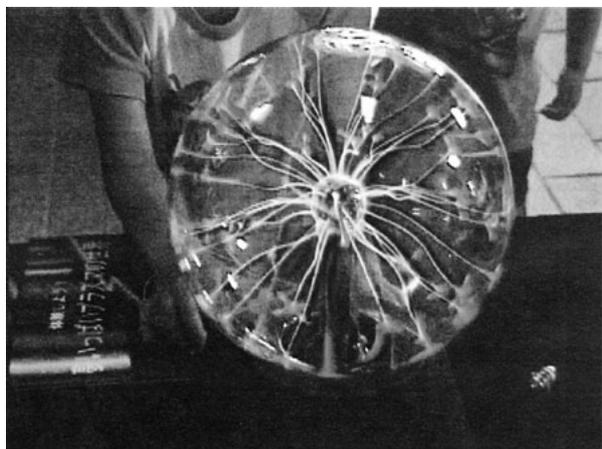


図3 4 2 プラズマボール (p.552のカラーの図参照)



図3 4 3 黒い炎 (p.552のカラーの図参照)

照明するとナトリウムランプの光が吸収されて炎が黒く見える．不思議を感じさせるよい例である．

このような放電実験を，多くの人がある場で演示して見せる場合は，事故のないように気をつける必要がある．例えば，直流放電の場合は電極に手を触れないようにしないとイケないし，電子レンジで光らせる場合は中に水を入れたコップを入れておくことを忘れてはいけない．プラズマボールの場合は「心臓にペースメーカーを入れている人は近づかないで欲しい」と書いておく必要がある．炎の場合は火傷しないように注意する必要がある．

3 4 3 スペクトルを見る

フィルム状の回折格子を用いると放電管から出る光のスペクトルが簡単に見える．特にヘリウムはスペクトル線が明るくて見やすく，赤から紫まで点在しており綺麗である．ヘリウム放電管を直流放電させた場合，通常の放電ではピンク色に見える．この光を回折格子を通して見ると，赤色に2本，明るいオレンジ色に1本有り，緑や青にも強い線がある．子供達はピンクの発光の中に緑や青の光が混じっていることに驚く．明るくて見やすいものには，ヘリウム以外にネオン（赤から黄色に集中している），水銀（黄，緑，青色に明るいスペクトルがある），ナトリウム（黄色の1本が全てのように見える）等がある．これらは夜の街で多く見られ，スペクトルの違

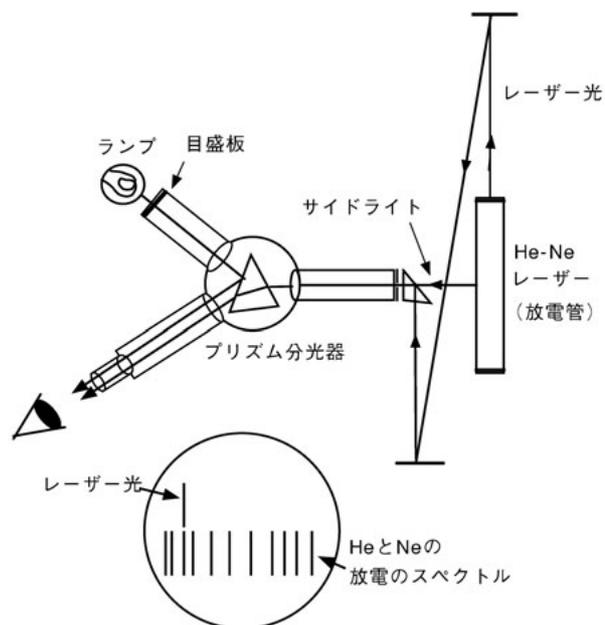


図3 4 4 He - Ne レーザーのスペクトル観測

いが明確で、教材として良い。このようなフィルム（回折格子）は光の正体が見られるということで、大変好まれる。もちろん、プリズム分光器と組み合わせるとスペクトルを詳しく見せることができる。例えば、He - Ne レーザーのふたを開けて放電管を見える状態にして、図3 4 4のようにサイドライトとレーザー光をプリズム分光器の上下に入れるようにするとサイドライトはネオンとヘリウムのスペクトルで埋めつくされており、ネオンのスペクトル線の1本(かなり暗い線)のみが、レーザー光になって明るく輝いていることを知ることができる。この時、レーザー光を分光器に入れるミラーに半透鏡を用いると減光されて安全である[1]。

3 4 4 He - Ne レーザー光を用いる実験

プラズマが発する光、特にガスレーザー、を用いると

楽しい実験装置が沢山作れる。透明なアクリル板の片面に透明なセメダインを隙間なく塗る。乾くと気泡が多く含んだ凸凹な状態になる。この板に赤色、オレンジ色、緑色の He - Ne レーザー光を当て、壁に投影すると複雑な干渉パターンがあらわれる。このアクリル円板をゆっくり回転させると幻想的なレーザーアートが楽しめる[1]。赤色の He - Ne レーザー光を2枚の回転ミラーで反射させ壁に投影する。そして鏡を高速で回転させると、スパイラルな図形(スパイログラム)が描ける。ミラーの回転方向を変えたり、速度を変えると面白い[1]。

参考文献

- [1] 応用物理学会：第7回「科学と生活のフェスティバル - 体験しよう! 夢いっぱいプラズマの世界」テキスト (2001) pp.43-44.

3 5 暮らし・環境・バイオとプラズマ

堀 勝
(名古屋大学)

Plasma in Human Life, Environment and Biotechnology

HORI Masaru

Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

(Received 10 March 2003)

3 5.1 はじめに

プラズマは、普通の暮らしの中に非常に多く使用されている。例えば、ランプがプラズマ(ガス放電)で輝いているように、プラズマは、非常に早くから人々の身近な生活に役に立っている物理現象の一つである。プラズマを子ども達や一般の方々に知ってもらうためには、身近に存在するプラズマの現象やその応用を取り上げて説明することが効果的である。

最近では、プラズマを用いた家庭電化製品が注目を集めている。マイナスイオンを発生する冷暖房機、花粉やタバコの煙を防ぐための空気清浄機等が広く家庭で使用されている。また、プラズマによって発生したオゾンは殺菌作用が高いために、飲み水、汚染物の清浄に使用されている。これまで冷蔵庫やエアコンの冷媒として使用されていたフロンガスは、オゾン層を破壊し、地球温暖

author's e-mail: hori@nuee.nagoya-u.ac.jp

化現象の原因になっている。このようなフロンガスを分解するのにプラズマ技術が使用されている。

これらの最近の話題に着目し、「暮らし・環境・バイオとプラズマ」をテーマに取り上げ10のブースを設置して、パネルのみならず装置の展示と実演を合わせて行った結果、非常に多くの人たちにプラズマの物理現象やその応用について学んでいただくことができた。ここでは、使用した10のブースの名前(キャッチフレーズ)を示し、これらのブースの教育的な狙いと教材化の例を簡単に説明する。

3 5.2 プラズマ処理で水玉をころがそう

雨降りの日には、外にあるいろいろな物が水に濡れているが、木や草の葉っぱや車の窓ガラスに観られる水玉は興味深い題材である。この水玉が「なぜできるのか」を理解するために、「はっすい」という現象に着目し、その

現象の物理と応用に関して説明と実演を行った。特に、超「はっすい」という現象は、ハスの葉っぱに代表されるように、水滴がほとんど球状で存在する不思議な物理現象である。このような超「はっすい」現象が生じる機構を解明するために、大気中でも観察できる電子顕微鏡が開発され、実際のハスの葉の微細な形態が明らかになり、超「はっすい」現象を生じさせている物理が理解されるようになってきた。また、このようなハスの形態を模倣した表面構造を人工的に作ることによって、超「はっすい」表面を作製する表面処理技術は、多くの産業での応用が期待されており、最先端の材料科学分野で注目を集めている。

本ブースでは、プラズマを用いてガラスの上に特殊な表面処理技術を行い、ハスの葉っぱと同じような微小の凹凸を有した種々の人工的な超「はっすい」表面を展示した。特に、その表面に水玉を落とすと、表面で水玉がボールのように跳ねるといった不思議な光景を実演することができた。

3.5.3 火の玉をつくる

お墓で火の玉が発生するという話は、子ども達にとって恐怖感とともに非常に興味をそそる話題の一つである。このような火の玉の発生機構については、いろいろな角度から科学的に議論されているが、プラズマ現象の一つであるという主張もある。このブースでは、大気圧プラズマを用いて実際に火の玉を作り、火の玉を視覚的に体験することができるようにした。

火の玉の形成には、まず、耐熱ガラスの三角フラスコを用意し、中に乾いた砂を敷き、その上に細い炭素繊維を束ねて作った直径3 cm くらいの輪を置く。その三角フラスコを電子レンジの中に入れ、電子レンジのスイッチを入れると、三角フラスコの中にプラズマの火の玉が浮き上がる。炭素繊維がマイクロ波によって加熱されてガスになり、このガスから多くの電子が生じた結果、プラズマの火の玉が生成されると考えられる。このようなプラズマ現象やその中の活性種の密度や振る舞いについては、最先端の科学でもまだ十分に明らかになっていない点が多くあるので、一般の方々や子どもたちばかりでなく研究者や技術者にとっても興味深い実演であった。

このような実験は、家庭の電子レンジを用いても直ぐに実行することができるが、間違った操作をすると大変危険なので、子ども達やその保護者には家で絶対にまねをしないようにテキストに明記するとともに、その場でも毎回注意した。しかし、こういった遊びの中に真の物

理教育が隠されており、遊びながら科学の面白さを体験できる機会を奪うようで、実施者としては複雑な心境であった。

3.5.4 オゾンの働き

「南極上空にオゾンホールができた」というニュースを何度も耳にするが、「なぜオゾンが消えるのか?」「オゾンが消えるとどうして危険なのか?」「オゾンとプラズマとはどのような関係があるのか?」については十分に理解されていないようである。そこで、実際にオゾン発生装置を持ち込んで、オゾンの生成機構とその影響について説明した。

このオゾン発生器は、高電圧で小型の雷を作り酸素原子からオゾンを発生させるもので、微かであるがオゾン特有の臭いを漂わすことができた。現象を説明する時に、このオゾン臭が子ども達の五感を刺激したために、物理を理解する上で非常に効果があったようである。このようなオゾンが、地球規模の環境に大きな影響を及ぼしていることや飲み水、河川、海の浄化にも利用されていることも説明に加えた。

3.5.5 電気でチリを集めようー空気清浄装置ー

空気清浄機は、多くの家庭で利用されている。特に、花粉症やアトピー皮膚炎の防止に有効であることも報告されている。このような身近な電化製品を取り上げ、プラズマによってチリがどのように集塵されるかについて説明した。また、実際に手作りの電気集塵装置を設置し、煙を一瞬にして取り去るところを実演して紹介した。これは、手品を目にするのと同じような驚きがあり、静電力や放電に関する物理について多くの方々の理解を深めることに成功したようである。

3.5.6 プラズマで「薬」の性能アップ

プラズマと「薬」という一見して異なる分野に思えるものを取り上げて、最先端の科学であるバイオ分野へのプラズマ応用についてパネルの展示を中心に紹介した。現在の薬は、体内で吸収され、体全体に作用することによって、病気の治癒のみならず副作用を生み出し、問題になっている。最近では、プラズマを用いて薬の表面に特殊な薄膜や小さな穴を開けることによって、体内で薬の溶け出す時間とその早さを思いどおりにした理想の薬が作られようとしている。

3 5 7 プラズマで地球を守れ

先に説明したオゾンと関係するが、地球規模での温暖化現象がどのような悪影響を人類にもたらし、そのためにもどのような対策が実施されているのかについて、実際に大型のフロン分解装置を設置して、プラズマによるフロン分解を例にしてパネルを用いて説明をした。ここでは、現在の国家プロジェクトである「フロンの処理・破壊方法」として使用されている高周波熱プラズマの原理、装置、作用を説明し、プラズマの環境分野への利用についてアピールした。

物理学の環境への応用については、今後ますますその重要性が増していく分野であり、多くの若い人が同分野に興味を持ち、研究や技術開発に携わっていくことが期待されているので、多くの子どもたちに地球規模での環境保全についての大切さを知ってもらえればと思って企画した。

3 5 8 未来の健康診断 -ヘルスケアチップ-

このテーマは、現在バイオ分野において最も注目を集めている。人体には、1日に非常に多くのガン細胞が発生しているが、同時に免疫作用によって消滅している。もし体内のバランスが崩れ免疫力が低下すると、癌細胞の増殖が進行し、最後には手術でも除去できないものになる。しかし、最近では、早期発見されれば癌も含めて大抵の病気を治療することが可能となっている。したがって、家庭で手軽に健康診断ができ、その情報が瞬時に病院へ送られることによって日々、各個人の健康管理が可能になれば、早期発見に役立つ。このような医療がデイリー健康診断であり、これを実現するチップがヘルスケアチップである。

展示したヘルスケアチップは、蚊の口を模倣した微小な無痛の針と採血した微量の血液を吸い出すポンプから構成されており、このようなシステムの製作には、プラズマを用いた微細加工技術が用いられている。そこで、ヘルスケアチップの作製方法を説明し、プラズマを用いた微細加工技術の重要性についても紹介した。

3 5 9 巨大金魚がやってきた!

本テーマは、今回のフェスティバルの目玉であり、終日非常に多くの方々が集まり、テレビでもその様子が何度も報道された。

プラズマを使って大気を分解し生成した酸素原子は、水の中に多量のマイナスイオンを発生する。このようなマイナスイオンが過剰に存在した環境下において、金魚

などの魚類を飼育すると通常の魚よりも成長速度が速く、全長3-4cmの金魚が1-2年後には30cmにも成長して巨大化することが知られている。水槽の中に通常の金魚と一見して鯉と間違えるくらいの大きさの巨大金魚を数匹入れた水槽を実際に展示したところ、皆が驚きを隠すことができずプラズマがもたらす生命への神秘を十二分に紹介することができた。

このような作用は、「金魚だけでなく他の動物や人間にも利用できるのか?」について多くの質問があったが、実際、ひらめやウナギの養殖や植物の栽培にも利用されているようである。また、人間への臨床実験も一部行われているようであるが、マイナスイオンの生命への効果については、まだ科学的に明らかになっていない。金魚の場合、マイナスイオンによって金魚の活力が増し、食欲が旺盛になるとともに食べたものを栄養にする働きが増殖されて成長が早くなると説明されていて、遺伝的な変化ではないようである。

子ども達は、巨大金魚の神秘やプラズマの拓く新しい応用に非常に大きな興味を持ったようで、巨大金魚の前でポラロイドカメラでの記念撮影を行い、子ども達に配布したのは大変喜ばれたようである。

3 5.10 金属同志をくっつけるープラズマ・スポットウエルダー

実験装置等を手作りで作製するときに、ウエルダーは必要不可欠な道具であるが、最近では、大学でも工作室が少なくなり、目にすることがなくなっている。本ブースでは、プラズマを用いた大気圧放電により金属同志を容易に接続することができる「スポット溶接」を紹介した。また、実際に幾つかの金属でできた輪を準備しておき、子ども達は「スポット溶接」装置を使って輪をくっつけていろいろな形を創作し、作品を持ち帰ってもらった。

スポット溶接を用いることにより、通常はくっつけることが難しい金属を容易に接続することができるため、各々が自由にデザインした種々の造形物を作製して楽しんでいただようである。実際に自分の手足を動かすことによって、デザインしたものを作製するということが、子ども達の物理学教育に非常に効果的であることがわかった。

3 5.11 プラズマはプラスチックも濡らす

大気圧プラズマ装置を展示し、同装置を用いてプラスチックフィルムを照射するとプラスチックの一部を疎水性から親水性にすることができ。これは、疎水性の

表面は水素終端されているが、大気中のプラズマ照射によって水素終端面から水素原子がはぎ取られ、空気中の酸素や水分の分解によって水酸化処理表面が形成されるために、局部的に親水表面を作り出すという物理学現象に起因している。そこで、種々のプラスチック板の上にプラズマ照射し、照射面にのみ水滴がつく実験を各自に行ってもらった。

このような物理学現象は非常に単純であるが、化学式を使用しないで説明することは非常に難しく、実演者は大変な苦勞していた。また、単純な現象であるが、最先端の半導体ナノプロセスにおいて上記現象を用いて選択的にナノ構造を形成するプロセス技術が用いられており、身近な物理とともに最先端科学を体験するよい教材と考えられる。

3.6 宇宙・エネルギーとプラズマ

藤 山 寛
(長崎大学)

Plasma in Space and Energy Sciences

FUJIYAMA Hiroshi

Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, Japan

(Received 26 March 2003)

3.6.1 はじめに

宇宙は何といっても子どもたちにとって大変興味ある対象であり、壮大な謎である。子どもの頃を思い返して欲しい。読者の皆様も宇宙飛行士や天文学者になりたいという将来の夢を描いておられたに違いない。太陽、月、星、宇宙人、そしてロケットやスペースシャトル、人工衛星、宇宙ステーションなどの宇宙機器に限りない夢と畏怖を抱いている子どもたち。そんな幼少期の子どもたちにとって、宇宙の謎を解き明かすことは、科学者への道を切り開くもっとも有効な方法であろう。

フェスティバルでは展示と実験を行ったが、宇宙関係で人気の高かった「プラズマのなかを踊る微粒子(実験)」と「人工オーロラ(実験)」について主に述べる。

3.6.2 プラズマのなかを踊る微粒子

微粒子プラズマ - 強結合プラズマ - の実験は、比較的装置が簡単であり、レーザー散乱でプラズマ中の微粒子がきれいに光るために、子どもたちの興味を引いた実験である。また、放電電圧(あるいは磁界)を変えると微粒子が動いてその配列が変わるため、動きに興味を示す低学年の子どもたちも面白がって眺めていた。

顕微鏡を覗いて雪の結晶を学んだ高学年の子どもたちにとって、顕微鏡を使わないで結晶構造が理解できた

author's e-mail: plasma@net.nagasaki-u.ac.jp

め、科学実験としては大変効果的な教材である。最終的に、宇宙がプラズマからできていること、塵だらけであること、それが集まって星ができることを理解させ、地球もそのようにしてできたと納得させるストーリーが啓発教育として素晴らしい。

3.6.3 人工オーロラ

宇宙・エネルギーの分野では、「人工オーロラ」を真空容器の中で再現し、赤や緑の人工オーロラを磁場で揺らして、ゆらゆら揺れるカーテンのようなオーロラ現象を見せ、オーロラのできるしくみを理解してもらえようにした。大き目の真空容器、電子銃、変調磁界発生装置、

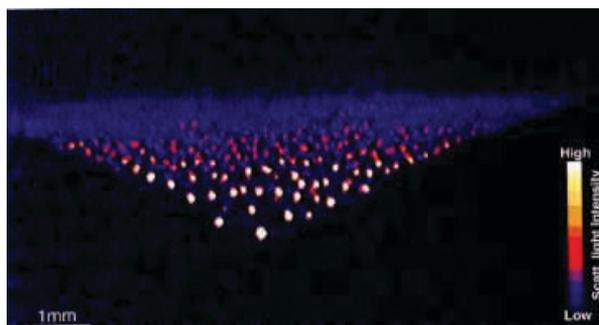


図3.6.1 微粒子プラズマ(名古屋大学高村研究室)
(p.552のカラーの図参照)

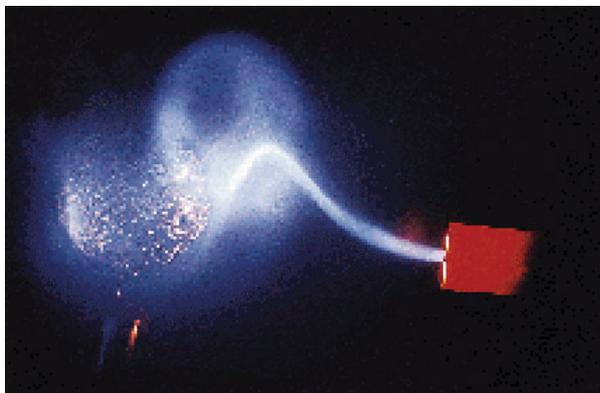


図3.6.2 人工オーロラ（長崎大学藤山研究室）
（p.552のカラーの図参照）

ガスボンベからなる人工オーロラ装置はやや大がかりではあるが、なんといっても「オーロラ」を日本で見られるというのは大変な魅力である。フェスティバルでは見学者の行列ができ、テレビでも多く放映された。真空容器の中に永久磁石を入れた地球やスペースシャトルの模型を入れて臨場感を出す工夫もし、地球の磁気圏シミュレータとしても科学的価値のある教材である。長崎市科学館では、ガスを切り替える装置の付いた「色の変わる人工オーロラ」が常設展示されていて、子どもたちの人気を集めている。

3.6.4 エネルギーとプラズマ

未来のエネルギー核融合やレーザー核融合などのエネルギー関連の展示は、単にパネルの展示だけでは小学校高学年の子どもたちでもその原理を理解することが難しいように見受けられた。プラズマ応用として最大の未来エネルギー「核融合」は、「地上に作る人工の太陽」として位置づけ、その応用として電気を作る「核融合発電所」ができます、というストーリーがわかりやすい。以前、旧名古屋大学プラズマ研究所入り口に展示用トラスがあったが、あれは動くので大変面白かった。しかし、子どもたちに見せて核融合発電の原理が理解できるのだろうか。小中学校レベルの科学教材としてはさらにひと工夫もふた工夫も必要である。また、プラズマのエネルギー分野への応用としては、核融合だけでなく、プラズマプロセスで作るアモルファス太陽電池という切り口もある。

3.6.5 おわりに

プラズマ・核融合学会のホームページ（<http://jspf.nifs.ac.jp/hirogari.html>）にグラフィック図書館 - プラズマ・核融合研究の広がり - というものがあり、「プラズマ写真館」となっている。この中でもやはり「宇宙プラズマ」の美しさは抜群である。

子ども向けプラズマ科学教材としては、やはり「宇宙プラズマ」は財産である。子どもたちの理科離れ対策として、もっと「宇宙プラズマ」を活用してはいかがでしょう。

3.7 プラズマの科学工作実験への活用

永津 雅章
（静岡大学）

Application of Plasma in Scientific Handicraft Class

NAGATSU Masaaki
Shizuoka University, Hamamatsu 432-8561, Japan
(Received 27 February 2003)

3.7.1 はじめに

「子どものための工作教室」と題して4つの工作テーマが「第7回科学と生活のフェスティバル」で行われた。
authoe's e-mail: tmnagat@ipc.shizuoka.ac.jp

著者も工作テーマの一つを担当し、とても貴重な体験をすることができた。本稿では、その時に行われた工作教室の内容について紹介したい。まず、工作教室で行われたテーマ名、担当者、1回の工作の最大参加者数、所要

表3.7.1 フェスティバルで行われた工作教室のテーマ一覧

テーマ名	担当者 (敬称略)	1回の工 作の最大 参加者数	1回の工 作所要時間	1日の工 作実施回数
A. 静電気をためてプラズマを作ろう - 現代版ライデン瓶 -	伊藤昌文 (和歌山大)	20	60分	3
B. 100円で雷をつくらう	高木浩一 (岩手大)	20	60分	3
C. プラズマでネームプレートを作ろう	永津雅章 (静岡大)	15	60分	3
D. ピカピカキーホルダーを作ってみよう	岸本 茂 (名古屋大)	10	60分	3

時間、1日の実施回数を表3.7.1に示す。

もちろん、当日の工作教室では多くの子ども達を相手にしたので上記のテーマ担当者以外に多くのスタッフの方々にご協力をいただいた。この表に示した担当者はパンフレットの原稿執筆者で、その準備作業に中心的に携った方の名前である。

工作教室は6.2 m × 18.6 mの広さの比較的広い部屋を利用して行われた。しかし、工作用の机を10台程度入れると4つのテーマを同時に行うことが無理であったので、結局2テーマずつを組にして、午前の前半に表中のAとCのテーマを、後半にBとDのテーマを実施し、午後は午前のやり方を2回繰り返すことになった。当初予定されていた1回の工作での最大参加者数はAが20名、Bが20名、Cが15名、Dが10名であったが、参加希望者が非常に多かったこともあり、当日急遽、参加人数を何名か増やすことになり、私の担当したCのテーマでも20名まで増やしたように記憶している。工作教室の参加希望者には当日整理券を配ることになっていたのので、整理券を配付する受付には1 - 2時間前から保護者たちが列を作って順番を待っていたようである。また2日目の朝は開館と同時に工作教室の受付に列ができていた。参加人数が限られていたこともあり、希望の工作テーマの整理券を獲得するのはかなり大変だった様子が窺える。今回の反省として言えることは、今後同様な企画を行う場合には、予め、はがき等で参加希望者を募り、当日前に定員人数分だけ参加決定者に配布するのが望ましいと思われる。

3.7.2 工作教室の実際

工作教室の内容紹介は、フェスティバルのパンフレットに記述された内容をそのまま示した方がわかりやすいので、図3.7.1~4に関係する部分を抜粋して示すこと

にする。ただし、子ども向けなので漢字にルビがふってある点をご容赦願いたい。これより、工作の内容は大体おわかりいただけると思う。

さて、各工作テーマを当日実施するまでに、担当者はかなりの準備が必要であったと思う。私の担当した工作テーマでも、研究で実際に用いていたマイクロ波プラズマ装置をフェスティバル前日に浜松から名古屋に運搬する必要があった。装置運搬の他に、もちろん多くの準備が予め必要であった。

当初は、シリコン基板のようなプラズマ処理に耐え得る材料の表面にホトレジスト膜を塗布、乾燥させたものを予め用意し、子ども達に自分の名前をインクペン等で書いてもらう予定であった。これを酸素プラズマでアッシングし、字を書いたところ以外のレジスト膜を短時間(数分間)で取り去り、名前だけを残すというものである。レジスト膜は、シリコン基板に塗布すると干渉効果で赤く見えたり、青く見えたりするので子どもたちの興味を引くことを期待したわけである。しかし、シリコンはとても割れやすく危険なので、何か別な材料で、かつ文字の見栄えのするものを探すことにした。その結果、新しい基板としてスライドガラスの表面にアルミ蒸着したものをを用い、その上にホトレジスト膜を塗布したものを準備することにした。仕上げ作業では、スライドガラスをアクリル板に透明テープで固定して「でき上り」とした。

さて、1回で15名が参加する工作教室を、1日に3回、2日間開催すると、予備も含めて合計120枚程度の基板が必要であった。工作のときに子ども達が手を切らないようにと、面取りしたスライドガラスを購入する配慮も必要であった。アルミ蒸着は当初自前の蒸着装置でと考えたが、120枚も蒸着するのはとても大変であるため、結局業者に依頼した。さて、次の工程は、ホトレジスト膜をスピナーで一枚ずつ塗布し、数10枚まとまったところで加熱乾燥処理を行う作業であるが、これがなかなか大変な作業であった。この作業を行うため名古屋大学の先端技術共同研究センターに出かけ、堀先生の研究室の学生さんや私の研究室の大学院生に手伝ってもらい、ほぼ1日作業で150枚分の基板作成を行った。

フェスティバルでは、20名の子どもが名前を書いたガラス基板を一度に処理しなければならないので、かなり大口径のプラズマ装置が必要である。このため、プラズマ生成は2.45 GHzのマイクロ波を用いた口径40 cm、高さ40 cmの表面波プラズマ装置を用意し、酸素プラズマ放電を用いたアッシングと呼ばれるレジスト膜除去の処

身の回りの物で現代版ライデン瓶を作ろう!

- ① ペットボトルの回りにびったりアルミホイルを巻いてテープでとめます。
- ② ペットボトルの蓋に5mmくらいの穴をあけます。
- ③ アルミホイルで、長さが20cmで太さが5~10mmくらいのひもを作ってください。
- ④ アルミのひものどちらかの端をペットボトルの蓋にあけた穴に通してください。
- ⑤ ペットボトルに食塩水を入れ、次に③で作ったアルミのひもをペットボトルに入れて蓋を閉めてください。
- ⑥ パイプで布をこすって蓋から出ているアルミのひもにさわります。これを10回くらい繰り返します。
- ⑦ 蓋から出ているアルミのひもをペットボトルの回りのアルミホイルにゆっくり近づけてください。火花(プラズマ)が光りましたか?

これで本当にランプや蛍光灯も光ると思いますか? 皆でためてみましょう!



作成するライデン瓶

図3.7.1 A. 静電気をためてプラズマを作ろう

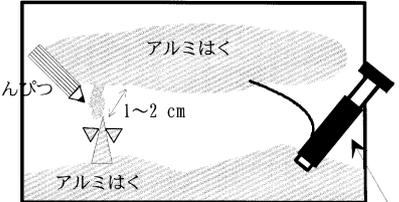
“ミニかみなり”(正確には放電とよんでいます)の作りかた

- ① ライターを分解して、“圧電素子”をとりはずします。ライターにはガスがはいっています。注意してください。
- ② 厚紙にアルミ箔を、つぎのページの絵のようにはります。上は“雲”で、下は“地面”になります。“雲”と“地面”の間の長さは1~2cmにしてください。
- ③ 雷を落としたいところを2Bの鉛筆で黒くぬります。
- ④ “圧電素子”から出ている線を雲にあて、底の金属を地面に押し付けて、ボタンを押してください。小さい雷(放電)が、“雲”と“地面”の間にできます。見えにくいときは、暗くしてください。できないときは、“雲”と“地面”の隙間を狭くしてください。
- ⑤ すきな絵をマジックで描いてください。
- ⑥ どうやったら雷を長くすることができるでしょうか? ちよつと工夫すると10cm以上の雷も作るができます。

参考: “圧電素子”のボタンをおすと、短い時間(数マイクロ秒: 1マイクロ秒は100万分の1秒)ですが、約1万ボルトの電気(電圧)がでます。ミニかみなりは、この電気で生まれます。

注意! 圧電素子を、絶対に、人にあてないでください。

あつがみ



あつてんそし

図3.7.2 B. 100円で雷を作ろう

ネームプレートの作り方

それでは図2にネームプレートの作り方を説明します。材料はスライドガラスの板の片面にアルミの薄い膜をつけ、さらにその面の上にレジスト膜を塗ったものを使います。

- (1) まず、スライドガラスのレジストを塗った面に色のついた塗料のペンで名前を書きます。
- (2) それをプラズマ装置の中に入れて酸素プラズマを放電します。
- (3) 数分後、プラズマ装置からスライドガラスを取りだします。
- (4) 酸素プラズマでレジスト膜を取った部分のアルミ膜を特殊な溶液につけて取りさると、アルミ膜の文字だけが残ります。
- (5) スライドガラスをアクリルの台板にのせ、表面に保護用テープをはってでき上がりです。

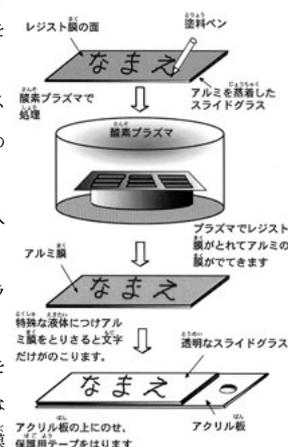


図2 ネームプレートの作り方

図3.7.3 C. プラズマでネームプレートを作ろう

(工作)キーホルダーを作ってみよう

スパッター装置を使って、アクリル板に金の薄膜をつけたキーホルダーを作ります。はったシールをはがすと、その部分が透けて見えるぞ。

作り方

- ① 透明アクリル板にシールをはろう。シールは小さいのでピンセットを使います。また、強く押しつけると後ではがれなくなるので、軽く置く程度にしよう。
- ② できたら係りの人にわたして、スパッター装置の中に入れてもらおう。4人分同時に入れます。
- ③ 放電開始! プラズマを観察しよう。
- ④ はったシールをはがす。こすると金がとれてしまうので、ピンセットで慎重にはがそう。
- ⑤ 金をはがれないように、ニスをぬる。3分程度でかわくよ。
- ⑥ 係りの人にチェーンをつけてもらおう。
- ⑦ 好きなシールをはって、飾りつけをしたら完成です。

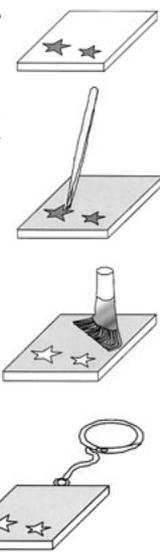


図3.7.4 D. ピカピカキーホルダーを作ってみよう

理を行った．この技術は，半導体プロセスにおいて不可欠な処理である．酸素プラズマアッシングの処理時間は3～5分程度で，この間に子ども達や付き添いのご両親に工作会場の隣の空きスペースに設置した実験装置の説明を行い，酸素プラズマ放電の様子を測定ポートから実際に見学してもらった．

子どもたちやご両親の中には，プラズマ放電の様子を測定ポートから興味深くのぞいていた光景がとても印象に残っている．

3.7.3 おわりに

参考に，出来上がり具合を調べるために行ったテストサンプルの写真を図3.7.5に示す．あれから足掛け2年経ったネームプレートであるが，色あせていなかったの今回写真に収めることにした．あの時，私の子どもは，この出来上がりを見てとても気に入っている様子だったので，それで本番を乗り切ろうと決心した．あのとき参加してくれた子どものネームプレートはもう跡形もなくなっているかもしれないが，プラズマを使って作った

ネームプレートのことを少しでも記憶にとどめてもらえたならば，この工作は大成功であったと思う．フェスティバルに参加してくれた低学年の小学生達が，現在，小学校の高学年や中学生となって，理科の好きな子ども達になっていてくれることを心より願って本稿を終える．



図3.7.5 ネームプレートのサンプル写真