

# 用語解説(34)

## 『新しい電子源』

### 含浸型エミッター (Impregnated Cathode, Dispenser Cathode)

高融点金属材料の多孔質基体材料の中にアルカリ土類金属酸化物等 (BaO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) からなる電子放出物質 (含浸剤) を含浸させた構造をしており、約 1000°C にて 10 A/cm<sup>2</sup> 以上の電流密度を得ることができる。このエミッターは 5 A/cm<sup>2</sup> 以上の電流密度を取り出すことの困難な従来の酸化物エミッターの改良版として、1950 年代にオランダの Philips 社にて開発されたものである。その後、上記の基本型以外に、Os や Ir 等をエミッター表面に被覆した被覆型や基体材料に Os, Ir 等を混合した混合基体型等が開発され、現在、高出力の送信管や高精細ブラウン管等のエミッターとして使用されている。いずれの型の場合も、動作中に含浸剤と基体材料との反応により生成した Ba 原子が基体材料の空隙中を拡散して、エミッター表面に単原子層オーダー吸着するのがこのエミッターの特徴である。なお、この吸着には酸素 O が介在する場合が多い。吸着した Ba は基体材料や O と電荷交換を行い正に帯電する。この結果、マクロ的に見れば、この正電荷と基体材料中にできる鏡像負電荷との間に電気双極子が発生し、その効果により、エミッター表面の仕事関数が低減する。仕事関数は基本型では 1.8-2.0 eV、被覆型や混合基体型では 1.6-1.8 eV である。これらの値は基体材料に用いられる W の仕事関数 4.5 eV に比べると大幅に低いものである。最近では、O の他に Sc を介在させ仕事関数を 1.2 eV まで下げるエミッターも提案されている。(日立基礎研・山本恵彦)

- 1) 中西寿夫: 応用物理 11, 1423 (1987).
- 2) 山本恵彦: 真空 31, 833 (1988).

### NEA 型エミッター (Negative Electron Affinity Emitter, 負の電子親和力を利用した電子源)

GaAs や Si 等の p 型半導体表面に Cs および酸素を吸着させると負の電子親和力 (NEA) を持った表面が形成されることを利用した電子源である。

半導体の電子親和力  $\chi$  は伝導帯の底のエネルギー準位と真空準位の差で定義される。高密度にドーパされた p 型半導体では、フェルミ準位は価電子帯上端のすぐ近傍にくるから、 $\chi$  は、 $\chi = \phi - E_g$  と近似できる。ここで  $\phi$  はフェルミ準位と真空準位の差で定義される仕事関数、 $E_g$  はギャップエネルギーである。

Cs 原子は陽イオンになり易い原子であり、一般に固体表面上に吸着すると電子が固体内に移動し、電気双極子を形成する。そのため、Cs 吸着表面の仕事関数は約 1.4 eV になることが知られている。従って、例えば p-

GaAs (ドーパ量、 $10^{19}$  cm<sup>-3</sup> 程度) に Cs を吸着させると、常温での GaAs の  $E_g$  は 1.43 eV であるから、 $\chi$  は負の値を持つようになり、NEA 表面を形成する。酸素を併せて吸着することによりこの効果は一層促進される。

NEA 表面を持つ半導体では、真空準位は伝導帯の底の準位よりも低いエネルギー状態になるから、伝導帯の底にある電子も放出されうる。伝導帯の底にある電子はホット電子に比較して格段に長い寿命時間を有する。このことから、NEA エミッターは高効率となる。

エミッターとして使用するためには伝導帯に電子を注入する必要がある。この方法には、NEA の p 層と n 層の接合をつくり、順方向バイアスを加えて n 層より p 層に電子を注入する方法や、光を用いて価電子帯から伝導帯へ電子を励起する方法がある。

よく用いられている GaAs の光励起 NEA エミッターの特徴を要約すれば、①高い量子効率を有する (数%/フォトン)、②エネルギー広がり小さい電子ビームが得られる (最小で 30 meV 程度)、③励起光の持続時間を短くすることにより、サブナノ秒の電子パルスが得られる、④スピン偏向性を有する、等である。

NEA は、GaAs の他に GaP, InP, Si 等でも形成されうることが報告されている。

(東北大通研・上原洋一)

- 1) 萩野 実, 助川徳三: テレビジョン学会誌 32, 670 (1978).
- 2) J. Scheer and J. van Laar: Solid State Commun. 3, 189 (1965).

### TiC フィールドエミッター (TiC Field Electron Emitter)

フィールドエミッターは、室温において  $10^7$  V/cm オーダーの強電界の印加により電子を固体内部から真空中にとりだす電界放射現象を利用した電子放射材料であり、高輝度、可干渉性、点光源等の点から、最近注目を集めている。炭化チタン (TiC) 単結晶を用いたフィールドエミッターは、最適な表面処理により放射電流の安定化がおこることが見いだされており、極めて安定な電流特性を示すことが明らかになった。この表面処理を施した高安定 TiC フィールドエミッターは、低加速走査型電子顕微鏡、分析電子顕微鏡をはじめとする各種マイクロビームアナリシスの高性能化に寄与するとともに走査型トンネル顕微鏡などのチップとしての新用途も期待できる。

エミッターとして単結晶を用いる利点の 1 つに、チップ長軸方位を単結晶の最適方位に選択できることをあげることができる。TiC フィールドエミッターは、チップ長軸を  $\langle 110 \rangle$  方位とする TiC  $\langle 110 \rangle$  フィールドエミッターが実用的である。このことは、TiC  $\langle 100 \rangle$ , TiC  $\langle 111 \rangle$  などの他の軸方位をもつ TiC エミッターが軸方向には強い電子放射をしないことに起因する。

TiC  $\langle 110 \rangle$  チップの表面処理は、以下に示すような 2 段階操作よりなる。(1) 清浄表面チップを酸素、エチレンあるいは硫化水素ガス中において 1000~1100°C で加熱する。加熱温度は 1200°C を越えてはならない。チップのガス露出量は、導入ガスの圧力と露出時間の積で定

TECHNICAL TERMS (34)

義する。(2)導入ガスの真空排気後、全電流  $10 \mu\text{A}$  を 30 分以上放射する。この 2 段階プロセスを経て表面処理は終了する。なお、2 種類以上のガスを用いる多段表面処理も有効である。

チップの表面処理効果は、(1)エミッションパターンの変化、(2)放射電流の増加(定電圧下)、(3)放射電流の安定化、の 3 点からなる。したがって、チップの表面処理が成功したかどうかは、エミッションパターンの変化あるいは放射電流の増加を観測することで判断できる。この変化は、表面処理によりチップ先端の先鋭化がおこったことに起因する。表面処理チップからの放射電流は、清浄表面チップからの放射電流に比べて極めて安定になる。特に、エチレンと酸素の 2 種類のガスを用いた 2 段階表面処理においてその効果は大きい。例えば、超高真空下で電流雑音が 0.2% 以下、ドリフトが 0.1%/h 以下という極めて安定な電子放射特性を示す。また、表面処理チップからの放射電流は圧力の低下(真空度の向上)とともに安定性を増すことも明らかにされている。

(無機材研・石沢芳夫)

- 1) 石沢芳夫, 青木 進, 大島忠平, 大谷茂樹: 真空 **29**, 578 (1986).
- 2) Y. Ishizawa, S. Aoki, C. Oshima and S. Otani: J. Phys. D: Appl. Phys. **22** (1989) (in press).

薄膜フィールドエミッター

数ミクロンの大きさの強電界放射(フィールド・エミッション)電子源を数千から 1 万個集めた電子源をマルチ・エミッターと呼ぶ。開発の歴史は 20 年を越えるが、最近の性能向上により、実用化の段階を迎えつつある。フィールドエミッションを使った電子源は高輝度、点光源、細いエネルギー幅などのマイクロビームとして理想的な性質をもつが、ビームの安定性の点で問題が存在する。

この欠点を材料の選択や表面処理で改善したのが TiC エミッターであり、電子源の数を増やして統計的な平均操作で解決したのが、マルチ・フィールド・エミッターである。典型的なマルチ・エミッターはスタンフォードの Spindt によって開発され、Spindt 型電子源または薄膜フィールド・エミッターと呼ばれている<sup>31)</sup>。この電子源は図に示すように、シリコン基板上に数ミクロン径の穴を持つ酸化シリコン膜を微細加工技術によって作成し、更に Mo 金属の蒸着によって穴の中に Mo チップを作成する。

1 万個のチップを持つエミッターの典型的な特性は以下の通りである。引出し電圧 90 V で 1 mA のビームがとれ、1 時間程度の時間スケールの電流変動の振幅は 2% 以下である。寿命は 5000 時間以上と報告されているが、しばしば引出し電極の破壊等により特性が変化する

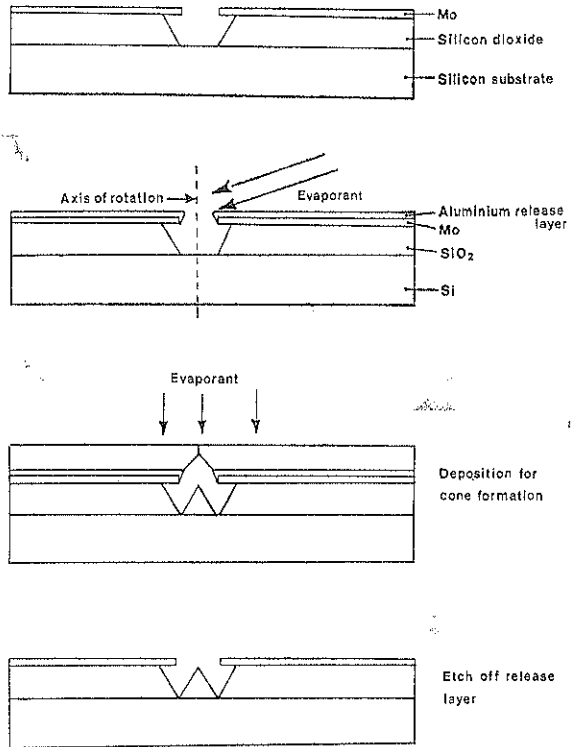


図 薄膜フィールドエミッターの製造過程。

ことがある。またホコリや塵に弱い欠点をもつ。最近、この微小な電子源を単独で利用した大きさ数ミクロンの電子管を開発する Vacuum Microelectronics と呼ばれる技術が話題を集めている。

Spindt 型以外のマルチエミッターとして特殊な材料を利用した電子源も知られている。Ni や Co 金属中に TaC や NbC などの炭化物の微小な針状結晶(約 0.5 ミクロン径)を数ミクロン間隔に並べた材料を一軸凝固法によって作る。そしてこの針状結晶を使って針の山状のチップ先端をもつマルチ・エミッターを形成する。この電子源の引き出し電圧は薄膜フィールドエミッターに比較してやや高いが、7000 時間の寿命と 100 mA のビーム電流が報告されている<sup>32)</sup>。

(早大理工・大島忠平)

- 1) C. A. Spindt, I. Brodie, L. Humphrey and E. R. Westberg: J. Appl. Phys. **47**, 5248 (1976).
- 2) R. Forman: Appl. Surf. Sci. **16**, 277 (1983).
- 3) D. Stewart and P. Wilson: Vacuum **30**, 527 (1980).