Spindt 型冷陰極電子源からの電子放出特性*

荻原 徳男**・志甫 諒**・渡辺 聡彦**・坂本 慶司**・菊地 正彦**

大谷 俊介****・石塚 浩*****

(受付1991年12月24日, 掲載決定1992年2月8日)

Characteristics of Spindt-type Cold Cathode

Norio OGIWARA**, Makoto SHIHO**, Akihiko WATANABE**

Keishi SAKAMOTO**, Masahiko KIKUCHI***

Shun'suke OHTANI**** and Hiroshi ISHIZUKA*****

**(Naka Research Establishment, JAERI, Naka, Ibaraki)

*** (Tokai Research Establishment, JAERI, Tokai, Ibaraki)

**** (University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo)

***** (Fukuoka Institute of Technology, Wajiro-higashi, Higashi-ku, Fukuoka)

(Received December 24, 1991, Accepted February 8, 1992)

1. 緒 言

冷陰極は現在極高真空との関連で注目をあつめている。真空を乱すことなく電子を引き出せるので、熱陰極の代わりに電子源として使用することが考えられている¹⁾。

ところで、我々は自由電子レーザーへの応用ということで冷陰極電子源に注目している。それは高輝度でエネルギーの広がりきわめて少ない電子ビームを取り出さうと考えられるからである。SRIのSpindtらの報告によれば、1チップあたり100 μ Aの電流を取り出せるという²⁾。これによれば、10⁷本のチップの組み込みが可能としてビーム径が1 cm程度で電流1 kAの電子ビームを実現しうる。

ところで、チップの耐熱性を考慮すると、直流にかえてパルス的な電流引き出しとすれば、より大電流をうる

ことができよう。そこで我々はSpindt型の冷陰極電子源を用いてパルス的な運転における電子引出し特性の評価を開始したので、その結果について報告する。

2. 実験方法

測定にあたっての電位配置をFig. 1に示す。ゲートをアース電位とし、エミッター・ゲート間にフィールドエミッションを引き起こすに十分な電圧(～100 V)を加える。以下これをゲート電圧という。このゲート電圧をパルス化することにより、パルス状の電子電流が得られる。今回の実験では毎秒約1000回のパルスを加える。放出電流はコレクタに流れる電流で評価する。コレクタ・ゲート間距離を～2 mmとし、コレクタに～200 Vのバイアスをかける。エミッター電流のかわりにコレクタ電流を用いるのは、エミッター・ゲート間の電気容量(～100 pF)によりゲート電圧の急激な変動による誘導電流が無視できなくなり、エミッター電流が電子放出電流を与えなくなるからである。さらに、雑音対策として、真空中も含めて同軸ケーブルを使用している。

実験に用いた冷陰極源のSEM写真をFig. 2に示す。この素子は1 mm ϕ の円内に10000本のエミッターが組

* 第32回真空に関する連合講演会にて講演 (31P-28)

** 日本原子力研究所 那珂研究所 (茨城県那珂郡那珂町)

*** 日本原子力研究所 東海研究所 (茨城県那珂郡東海村)

**** 電気通信大学レーザー極限技術研究センター (東京都調布市調布ヶ丘1-5-1)

***** 福岡工業大学 (福岡県福岡市東区和白東3-30-1)

Fig. 1 Electrical configuration for the measurement. The gate is grounded to the earth. Pulsed voltage is supplied to the emitter. Emitted electrons are gathered to the collector, which is biased to ~ 200 V.

Fig. 2 SEM photograph of the Spindt-type cold cathode.

み込まれている。エミッターはMoからなり、その先端は非常に鋭く曲率半径は20 nm程度である。また、ゲート開口部の孔の直径は $1\mu\text{m}$ 程度である。素子の作製法については文献2)を参照されたい。

この冷陰極をターボ分子ポンプを主ポンプとする系に組み込む。200°Cでベーキングを20時間行う。実験中の圧力は $\sim 5 \times 10^{-6}$ Paであった。

3. 実験結果

3.1 直流モードにおける電流・電圧特性

放出電子電流のゲート電圧依存性をFig. 3に示す。

Fig. 4はこのデータをFowler-Nordheimプロット³⁾したものである。これから、明らかにフィールドエミッションにより電子放出の起きていることがわかる。今回の

Fig. 3 Change in collector current with gate voltage.

Fig. 4 Fowler-Nordheim plot for the Spindt-type cold cathode.

実験では最大100 mAの電流が得られている。これはエミッター1本あたり $10\mu\text{A}$ となる。

3.2 パルスモードにおける電流・電圧特性

測定例をFig. 5に示す。ここではゲート電圧 ~ 100 Vを1 msの間パルス的に与えている。横軸に時間を示す。縦軸の上段はゲート電圧を示す。下段はコレクタ電流を示す。ゲート電圧が加わるのに同期して電流の放出されていることがわかる。パルス幅を数 μs から数msの間で変更してもゲート電圧に対する放出電流は一定であった。この電流と電圧の関係は、直流モードにおけるものと同じであった。今回の実験ではエミッター1本あたり $20\mu\text{A}$ の放出電流がえられた。

3.3 破損した素子の観察

パルスモードにおいて ~ 200 mAの電流を引き出してゐる際に圧力が急激に 10^{-4} Paまで上昇し素子が破損し

Fig. 5 Time behavior of collector current and gate voltage for the Spindt-type cold cathode. Top; gate voltage, bottom; collector current.

た。素子の破損部分のSEM観察から素子の大半が熔融していた。これは、おそらくコレクタからのガス放出がおこり、これにより放電が誘発され、素子の熔融がおこったものではないかと考えている。

4. 今後の課題

大電流を引き出すためには、突発的に起こる放電を阻止しなければならない(3.3参照)そのためには、電子衝撃にさらされるコレクタをはじめとする各種部材の材質および処理方法を見直し、改善する必要がある。

今回の報告ではふれなかったが、パルスモードにおける電流の立ち上がり部分については電圧との時間的な一致がはっきりしない。すなわち、電流の立ち上がりがご

くわずか遅れるようにみえる。これは測定上の問題なのか本質的な問題(例えばガス吸着の影響など)なのか、はっきりしない。今後の課題である。

電流源としての性能を評価する上では電流値の他にビームのエネルギーの広がりおよびエミッタンス特性を知る必要がある。

5. 結 語

冷陰極電子源の1つであるSpindt型素子の放出電流特性を調べた。以下、結果を記す。

- 1) 直流から μs のパルスにわたって、フィールドエミッションによる放出電流を観測した。
- 2) 1エミッターあたり $\sim 20\mu\text{A}$ の放出電流がえられた。
- 3) ガス放出が引金と考えられる放電により素子が破損した。

今後、大電流引出しの実験を続けるとともに、電子源としての特性を評価する予定である。

最後に、本実験を進めるにあたり有益な議論をして頂いた東北大・横尾教授に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) 大島忠平, 相沢俊, 左右田竜太郎, 石沢芳夫, 第30回真空連合講演会予稿集 24 Ap-12.
- 2) C. A. Spindt, C. E. Holland and R. D. Stowell, Appl. Surface Sci., **16** (1983) 268.
- 3) R. H. Good Jr. and E. W. Mueller: Handbuch der Physik, S. Fluegge ed., 185 (Springer-Verlag, Berlin, 1956)