高電流短パルス電子線源への光電面の応用*

宮尾 正大**・吉岡 正和***・亀井 亨****・佐藤 勇****
 高田 耕治****・福島 靖孝****・松本 治****・設楽 哲夫****
 新竹 積****・水野 元****・黒田 寛人****・西村 弘志*****
 中野 昇*****・竹田 誠之*****

(昭和59年12月3日 受理)

Application of Photocathode to the
 High Current Short Pulse Electron Sources

Masahiro MIYAO**, Masakazu YOSHIOKA***, Toru KAMEI****,
 Isamu SATO****, Koji TAKATA****, Yasutaka FUKUSHIMA****,
 Hiroshi MATSUMOTO****, Tetsuo SHIDARA****, Tsumoru SHINTAKE****,
 Hajime MIZUNO****, Hiroto KURODA****, Hiroshi NISHIMURA****,
 Noboru NAKANO***** and Seishi TAKEDA*****

(**Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Johoku, Hamamatsu)

(***Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo, Tanashi, Tokyo)

(****National Laboratory for High Energy Physics,
 Oho-machi, Tsukuba-gun, Ibaraki)

(*****Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo,
 Minato-ku, Tokyo)

(*****Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, Osaka)

(Received December 3, 1984)

1. はじめに

100 GeVを越えるエネルギーを持った電子線を加速しようとする時、現在使われているようなシンクロトロン加速方式ではシンクロトロン放射光によるエネルギー損失により建設が困難であると予想される。そこでこのようなエネルギーを持った電子線を加速しようとする時にはライナック方式によらなければならない。しかしこのライナック加速方式によっても加速に要する電力は通常

の大電力クライストロンにより実現しようとする、電子エネルギー50 GeVで28 MW, 1 TeV では560 MW と非現実的な値となってしまう。そこでこの消費電力を引き下げる為に、より効率の良いと予想されるレーザーtronマイクロ波発生器を開発するための実証実験を行った。レーザーtronはモードロック YAG レーザー光が極短パルス光である事を利産し、この光をそのまま光電子放出面に当てて短パンチ電子ビームに直接変換し、このパンチされた電子ビームをマイクロ波キャビティと結合させてマイクロ波を得る装置である¹⁾。Fig. 1 にその原理図を示す。

この装置を実現する為にはまず光電子放出材料が超高電圧下で強力なレーザー光の照射に耐えて大電子流を放出することが出来るかどうか鍵となる。そこでこの様

* 昭和59年10月31日 第25回真空に関する連合講演会で講演
 (31 Ba-9)

** 静岡大学電子工学研究所 (浜松市城北3-5-1)

*** 東大原子核研究所 (田無市緑町3-2-1)

**** 高エネルギー物理学研究所 (筑波郡大穂町上原1-1)

***** 東大物性研究所 (港区六本木7-22-1)

***** 大阪大学産研 (茨城市美徳丘8-1)

な装置が可能かどうかをテストする為に試作管を作製してマイクロ波の取出しに成功したので報告する。

2. 実験方法

レーザートロンは Fig. 1 に示すように必要な周波数に合わせたパルス光を光電面に照射し、パンチされた電子ビームを発生させる。このパルス光は次のようにして作った。169.6 MHz にモードロックした $1.06\ \mu\text{m}$ の YAG レーザー光は、まず K*DP 結晶により第二高調波の 530 nm 光に変換する。この光は次いでエタロン板により 17 倍の 2884 MHz の周波数に変換される。光パルスの幅と周期はそれぞれ約 25~30 psec と 350 psec、持続時間は約 50 nsec であった。この光は Fig. 2 に示す構造の光電管の光電面に照射されてパンチされた電子ビームに変換され、この電子ビームが出力キャビティと結合してマイクロ波が発生する。光電面には耐久性に問題があるがとりあえず実証実験であるので通常のバイアルカリ光電面 (Sb-K-Cs, 浜松フォトリクス製作) を用いた。

Fig. 1 Conceptual structure of LASERTRON.

3. 実験結果

Fig. 3 に陰極一陽極間に印加した電圧と発生マイクロ波電力との関係を図示する。出力マイクロ波電力は印加電圧の 2.8 乗に比例して増加し、30 kV で 1.6 kW の出力が得られた。レーザー光強度と放出電流との関係は印加電圧の低いうちは飽和特性を示し、(Fig. 4) 飽和電流と印加電圧との関係は通常の空間電荷制限電流則とは異なる 1 乗の関係を示した。(Fig. 5) なお、電流の値は平均電流値でありピーク電流値ではない。単位面積当たりのピーク電流値は陰極面積が $1.75\ \text{cm}^2$ であるから光のデューティ比から最大 $40\ \text{A/cm}^2$ と推定される。

4. 考察

ごく普通の光電面材料であるバイアルカリ光電面から単位面積当たり $40\ \text{A/cm}^2$ の放出電流を取り出すことができたが、この電流値はすでに酸化熱陰極より得られる電子放出密度の約 6 倍の値である。光電子放出現象は物理的に半導体界面での電子伝導現象と同じであり、熱的及び電気的な破壊がない限り熱電子放出現象と異なり放出電流限界は励起光の強度のみによると考えられる。そしてその値は半導体素子などの性能から類推する酸化熱陰極の放出電流密度などよりはるかに大きな値と推定される。よって、レーザートロンは放出電流密度を制限するものは空間電荷制限電流とレーザー光の強度である。実験により得られた結果はこの空間電荷制限電流が放出電流の最大値を決定していた。そこで、電極間により大きな電圧を印加することによりさらに大きな電流を

Fig. 2 A cross sectional view of the LASERTRON Mark-IC and experimental arrangement.

Fig. 3 The relation between the RF- power and the applied voltage.

Fig. 4 The current saturation curves under the various applied voltages obtained from the Mark-ID.

Fig. 5 The average emitted current from the cathode versus the applied voltage per burst of the laser.

取り出すことが可能であろう。

一方、この空間電荷制限電流は、通常の電子管で観察されるような $\frac{2}{3}$ 乗則とは異なり、印加電圧の1乗に比例している。この現象はレーザートロン²⁾の電子放出が非常に短時間しか持続せず、陰極、陽極空間を全部満たすことができないためである。この現象は陽極から陰極へ向かう電気力線が放出電子電荷中で完全に終端されて陰極へ到達できないためであると考えることができ、これは言い換えると電子放出が無い時にカソード表面に誘起した電荷以上の電子は放出できないことと同じ事である²⁾。

この試作レーザートロンは管内で放電が起こり、印加電圧を25 kV以上に増すことができなかった。管内放電は最初は10 kVほどから起ったが、印加電圧を徐々に増してエージングすることにより25 kVまで増加することができた。しかし高電圧を印加して管内放電をくりかえした後は、光電面の量子効率³⁾は70~30%まで低下していた。この感度低下は1~2週間後にはほぼ回復していた。この現象については追って報告する予定である。

5. ま と め

Sb-K-Cs 光電面を用いたレーザートロンを試作し、

1.6 kW のマイクロ波出力を得ることができた。マイクロ波出力は陽極-陰極間に印加する電圧の 2.8 乗に比例した。また、ごく普通の光電面材料であるパイアルカリ光電面から酸化物熱陰極より得られる電子放出密度の約 6 倍の値である単位面積当たり 40 A/cm^2 の放出電流を取り出すことができた。この放出電流密度を制限するものは空間電荷制限電流とレーザー光の強度であった。一方、この空間電荷制限電流は、通常の電子管で観察されるような $\frac{2}{3}$ 乗則とは異なり、印加電圧の 1 乗に比例している。この現象はレーザートロン¹⁾の電子放出が非常に短時間しか持続せず、陰極、陽極空間を全部満たすことができないためである。

謝辞

この研究は一部、文部省「高エネルギー物理学分野における日米科学技術協力事業」と、文部省科学研究費特定研究「超高電界加速管の開発」の援助を受けておこなわれました。

〔文 献〕

- 1) P. B. Wilson, **IEEE NS-28**, No. 3 (1981) 2742.
- 2) H. Nishimura, Contributed paper to the 1984 Linear Accelerator Conference, GSI, Darmstadt, BDR.