

STUDY OF LASERTRON
M. Yoshioka (Linear Collider Study Group)
Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

ABSTRACT

We study a new rf-source, LASERTRON, aiming to apply it for future electron-positron linear colliders. A prototype lasertron with an rf-frequency of 2856 MHz was fabricated and an experiment was carried out. An rf-power of 80 kW was obtained at an accelerating voltage of 150 kV

1. はじめに

TeV 領域のリニアコライダーを実現するためにはピーク出力が数百メガワットクラスの超高出力のパルスマイクロ波源を実用化する必要がある。そのために Linear Collider Study Group[1] ではクライストロンやレーザートロン[2]の開発を行っている。本稿では出力 2 MW を目標に製作したプロトタイプレーザートロンの実験結果を報告する。レーザートロンの原理や初期の実証実験などについては既にこれまでのリニアック研究会や、最近では本年6月に KEK で開催された「大電力高周波源研究会」で紹介しているので詳しくは文献[2]に譲り、ここではその後の実験結果に重点を置くこととする。

今回製作したプロトタイプレーザートロンは rf-frequency は 2856 MHz で、パルス幅は $1\mu\text{s}$ である。その写真を図 1 に示す。レーザートロンが通常のクライストロンと異なるところは主としてつぎの 3 点にまとめられる。

- (1) フォトカソードを使う。
- (2) カソードから直接バンチしたビームが放出されるのでビームダイナミクスが直流ビームの場合と異なる。
- (3) マイクロ波周波数で強度変調したレーザーを使用する。

今回の実験の目的はこれらの点について、技術的な可能性を追求し、かつ実際に 2 MW のマイクロ波出力を得ることである。

2. 実験の概要

レーザートロンの繰り返しは最大 5 Hz まで可能であるが、実験は電流出力やマイクロ波出力および真空度の変化などを監視しながらほとんど単発モードで行った。

レーザートロンの特徴はビーム電圧が高く、速度が光速に近ずいて速度変調がかけにくい領域において発揮されるので、印加電圧は出来るだけ高くしたい。しかしこれは Insulator や電源などの性能、真空中での放電等で制限される。今回の実験においては一つのステップとして 200 kV を目標にした。

レーザートロンはクライストロンと逆にバンチして出てきたビームは空間電荷効果やウエークフィールドの影響でカソードから遠ざかるにつれてデバンチしていく。従ってマイクロ波出力空洞とカソードの距離 (L) は近い方が効率が高い。今回我々は L が 175 mm と 60 mm の場合について実験を行った。またソレノイド電磁石の磁場は最大 1.2 kG まで出せる。

3. 実験結果

- (1) フォトカソード

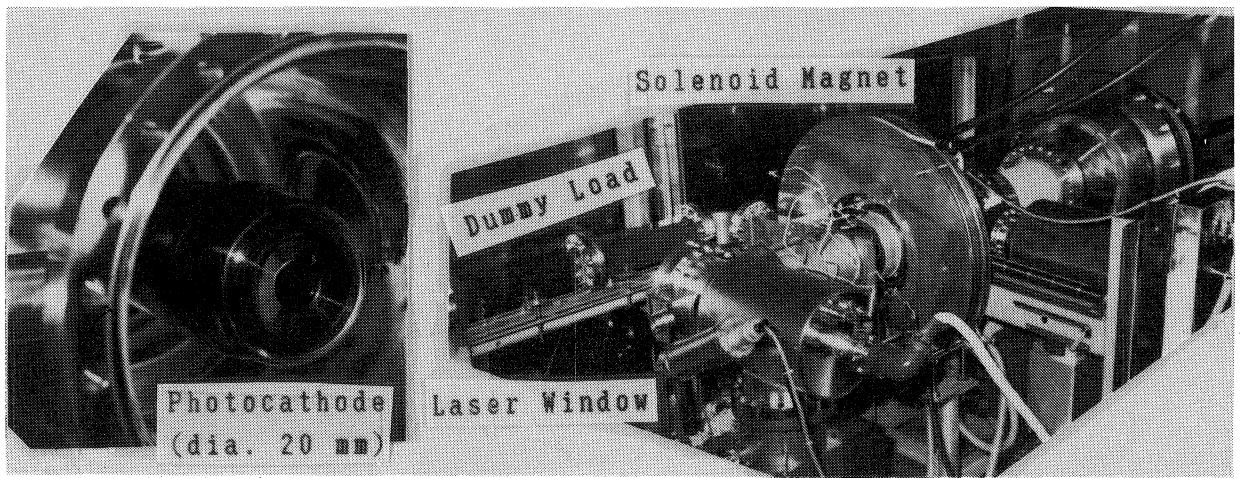


図 1 ; プロトタイプレーザーترون

フォトカソードとして直径 42 mm で厚さ 1 mm のヒ化ガリウム (GaAs) の結晶ウエハーを図に示される様にマウントした。有効直径は 20 mm である。カソードの活性は He-Ne レーザー光を照射し光電流を監視しながら行うが、この波長 630 nm の光に対して 5~10 % の量子効率を定状的に得ることが出来る様になった。

次にカソードの寿命は真空システムの性能によるところが大きい。現在の装置では我々は実用段階のカソードの寿命を得ることに重点を置いていないが、将来使用する予定の電子ビーム衝撃によるガス放出の小さいシステムの開発について本研究会において成島氏により発表される [3]。今のところ Base pressure は 1.5×10^{-10} Torr、21 A の電流を取り出したときの圧力上昇は 9×10^{-10} Torr であった。この状態で 100 shot 程度の一連の実験中のカソードの劣化はわずかで、また劣化しても加熱処理による再生が可能である。ところが電圧を上げていったとき、真空中の放電に伴いカソードが劣化することがあり、しかもこれは加熱処理を施しても回復しない。そのメカニズムについては調査中である。

(2) レーザーシステム

レーザーシステムはほぼ目標とする性能を発揮した。詳細については原田氏により本研究会で発表される [4]。ただし、カソードの有効面積内に空間的にピタリと一致したレーザー光を照射出来る様に光学系の若干の改善を行う必要がある。

(3) マイクロ波取り出し

図 2 に加速電圧と電流出力およびマイクロ波出力の関係を示す。今回の実験では最大印加電圧は 150 kV であった。これは高電圧ケーブルとレーザーترون本体とのジョイント部で放電を起こしたためで、この点は既に改良を施した。この電圧における電流出力は 21 A、マイクロ波出力は 80 kW であった。電流と電圧の関係を見ると、電圧が低い領域ではカソードとアノードの間にバンチが接近して多数存在するために、ビームダイナミクスは通常のクライストロン電子銃の場合とあまり変わらず、電流は電圧の $3/2$ 乗に比例して増加する。ビーム電圧が上がり、カソードとアノードの間に 1 ケのバンチしか存在しない様な領域に達すると、この $3/2$ 乗から徐々に外れ、1 乗に比例するというバンチビーム特有の振舞いを示す様になる [5]。今の場合この移り変わる電圧は 50 kV から 100 kV であ

る。次にマイクロ波出力を見ると、電圧の 5 乗に比例して増加し、150 kV において 80 kW の出力になった。この時ビーム電力は 3.15 MW であるから、ビーム電力のマイクロ波電力への変換効率は僅かに 2.5 % ということになる。この強い電圧依存性と低い効率の原因については検討中であるが、なんらかの原因でビームのデバUNCHING が起こっている可能性がある。

4. まとめ

フォトカソード電子銃で実際ビーム電圧 150 kV で 6.7 A/cm^2 の電流を取り出すことに成功し、またレーザー装置の製作についてはほぼ見通しがついたと言える。一方問題点としては、ビーム電力からマイクロ波電力への変換効率が 2.5 % とまだ低いことと、真空内部での放電に伴うカソードの劣化がある。今後はこれらの問題を解決し、さらに性能を上げていく予定である。

L はカソード・キャビティ間の距離

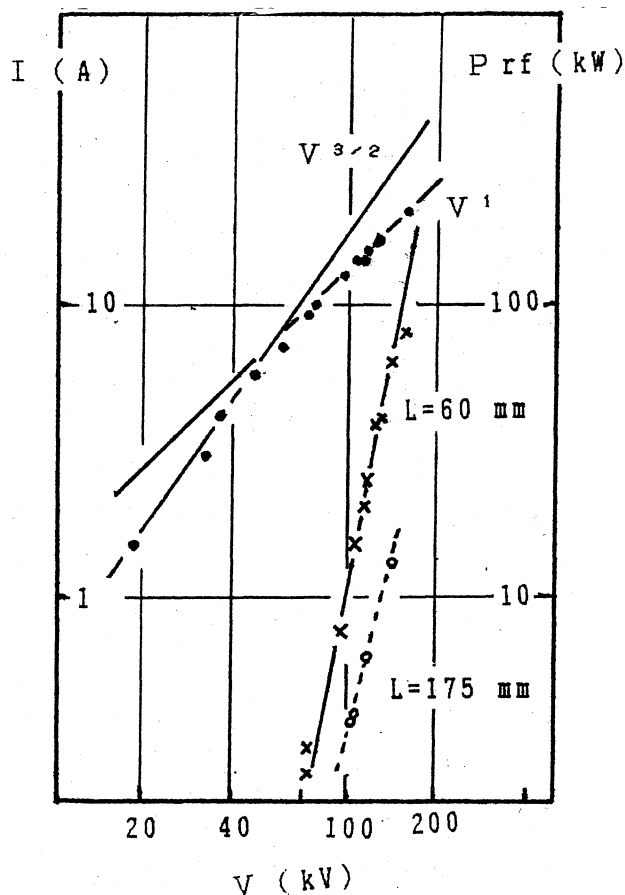


図 2 ; マイクロ波出力およびビーム出力と電圧の関係

謝辞

この研究は Linear Collider Study Group の仕事の一部として遂行している。レーザートロンの研究代表者は KEK の堀越教授で分担者は KEK の高田、松本、設楽、新竹、水野、福島、成島、阪大の竹田の各氏および筆者である。この報告の内容はこのグループの仕事をまとめたものである。KEK の西川所長およびリニアコライダー全体のオルガナイザーの木村教授にはこの研究を遂行する上で一貫して援助して頂いていることに感謝いたします。

参考文献

- [1] 高田耕治、「日本におけるリニアコライダー開発研究の現状」、本研究会
- [2] 吉岡正和、「レーザーtron開発の現状」、大電力高周波源研究会、1987 年 6 月 於 KEK
- [3] 成島勝成、「NEG のレーザーtronビームコレクター部への応用」、本研究会
- [4] 原田哲男、「レーザーtron用レーザーシステム」、本研究会
- [5] T. Shidara, "LASERTRON DEVELOPMENT AND TESTS OF HIGH GRADIENT ACCELERATING STRUCTURES IN JAPAN", 1987 Workshop on New Developments in Particle Acceleration Techniques, Orsay, France.