

TeV e^+e^- Linear Collider R&D [4] R&D of the LASERTRON

Hiroshi Matsumoto
and
Linear Collider Working Group

ABSTRACT

We study a new rf-source, LASERTRON, aiming to apply it for future very high energy e^+e^- linear colliders. We started a research and development program to construct a LASERTRON with a peak rf-power of 2 MW by using GaAs photocathode as a first step to achieve 10 MW~50MW and final goal to achieve GW. Design studies and preliminary experiment are described.

1. 序

TRISTAN後のエネルギーフロンティアを目指す加速器の候補としてTeV領域の e^+e^- リニアコライダーの検討が進められている。(文献1)これを実現するためには、ピーク出力電力がギガワットクラスにまで達するパルスマイクロ波源の開発が必要である。

このために、レーザー光を半導体の光電面に照射してそこから放出される大電流(100 A/cm²)の電子を利用するレーザーτροンの開発を開始し、既にセシウムバイアルカリの光電面で原理の実証試験を行い1.6 KWのマイクロ波取り出しに成功した。この実証試験での限界はレーザーτροン内部のアルカリの分圧が高い為、光電面とアノード間の耐圧が決めていた。より高出力の物を得るには高耐圧、高真空、光電面の開発が必要であり、各々の項目について基礎研究を開始した。

これらの開発研究は、光電面にガリウムヒ素(GaAs)を使用し、マイクロ波出力2 MW(パルス幅0.2 μ sec~1 μ sec、繰り返しmax 5 pps)程度のレーザーτροン(LT-150)を開発し総合試験を1986年度末に行う。この試験結果を基に1987年度にマイクロ波出力10 MW~50 MW級を目標にして総合試験を行う計画で準備をしている。本文では、GaAs光電面の活性化技術の確立、LT-150のデザインパラメーター(出力2 MW)について報告する。

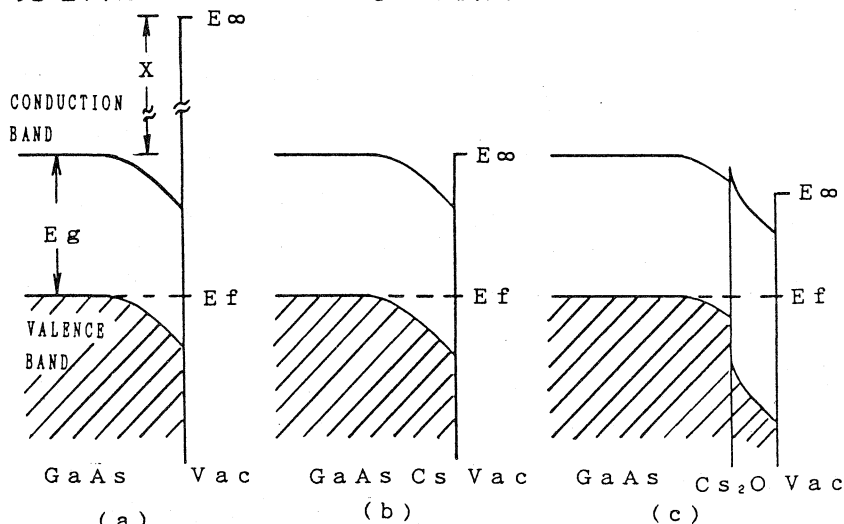
2. GaAs フォトカソード

2-1. GaAs光電面の原理(文献2、3)

良く知られているように半導体表面には電子を閉じ込めておくような電界が存在し、普通の状態では電子は外部に出ることが出来ない。この様子は図1a)で見ると真空準位が伝導帯より高いエネルギー状態にあり、伝導帯の底と真空準位との差 X は多くの物質で4.0 eV~5.0 eVの間にある。この X の値は電子親和力と呼ばれる。個体内の伝導帯にある電子は外部へ脱出するには親和力 X を越えなければならない。この親和力を零または負の値まで小さく出来たならば、非常に効率の良い電子放出材料として利用できることになる。半導体の表面に電気的な2重層を形成すると親和力が下がる現象は古くからトリウムタングステン、セシウムタングステン系熱陰極で知られ利用されてい

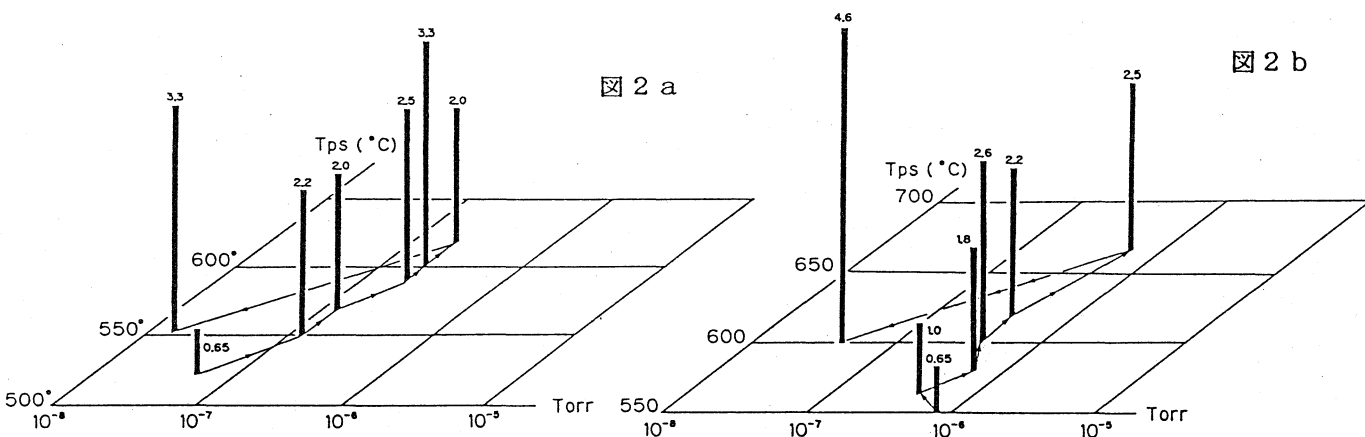
た。しかしながら2重層を形成するだけでは電子親和力は負にはならず、GaAs-Csの場合 $X = 0.5 \text{ eV}$ (図1b)である。その後の研究でScheererとVanlaarによりGaAsの単結晶を 10^{-8} Pa の真空度でへき開して得られた清浄表面にCsの単原子吸着層を形成することで、零ないし負の電子親和力状態が作り出された。この光電面は可視光に対して高感度を示すことから多くの研究者により調査の対象とされた。その結果、GaAsの表面に吸着させる物質は酸化セシウム(Cs_2O)の方が電子親和力を下げられる事がわかり(図1c)、より高感度が得られるようになった。レーザートロンの光電面はGaAs+ Ca_2O を使用している。

図1. NEA法によるGaAsの活性化



2-2. GaAs単結晶の活性化(文献4)

清浄な結晶面を得る方法として、結晶を化学処理をした後、速やかに真空チャンバーに納め装置全体を 150°C でベーキングを1昼夜行う。この課程で 10^{-10} Torr 程度の真空が得られる。この状態で結晶を $550^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ に加熱(~ 20 分)することで清浄な面が得られる。結晶の温度が 40°C いかに下がったところで光感度を観測しながらCsと O_2 を交互に吸着する作業を繰り返す(~ 10 分)。ヘリウムネオンレーザー光での量子効率を、ヒートクリーニング時の温度と真空(P_{max})をパラメーターとしてプロットした結果を図2に示す。これを見ると温度が高い程、又真空度がよい程量子効率は高いことが明かである。



3. LT-150レーザートロンの開発(文献5)

3-1. 光電流とレーザーパワー

光電面から取り出し得る電荷量[Q_e]は空間電荷によって制限され

$$Q_e = C \cdot V$$

で与えられる。Cはカソード、アノードの静電容量、Vは加速電圧である。また光電流とレーザーパワーの関係は

$$I_e = \eta \theta \cdot e \cdot W_L / (h\nu \cdot T_b)$$

$\eta \theta$: 量子効率 [%]

W_L : レーザーエネルギー/バースト
[ジュール]

$h\nu$: レーザー光量子エネルギー
[2.34 eV at 532 nm]

T_b : バーストパルス幅 [sec]

で与えられる。図3にレーザーパワーと光電流の関係を示す。

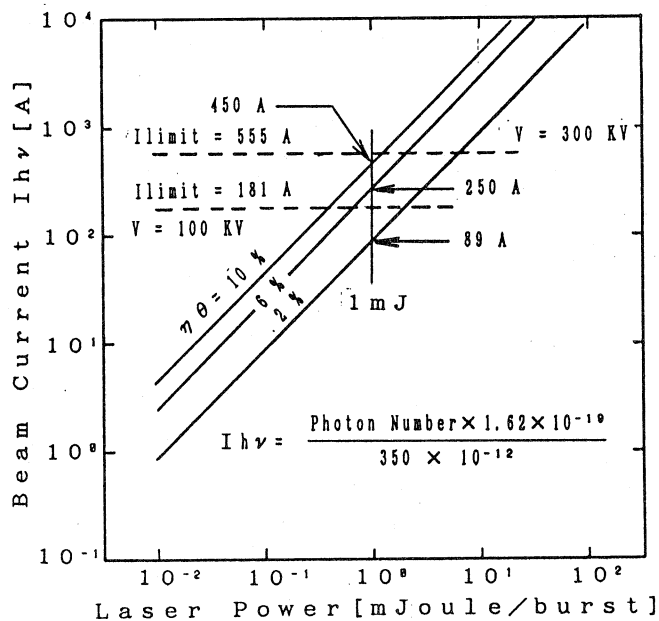


図3. レーザーパワーと高電流の関係

3-2. 光電流とマイクロ波出力

レーザー光の周波数を f_m とすると、平均電流 I は $I = f_m \cdot Q_e = f_m \cdot C \cdot V$ となり、加速電圧に比例する。ビームパワーは、 $P_b = V \cdot I$ となり、出力空洞での効率を η とすると、マイクロ波出力は、 $P_o = \eta \cdot P_b$ となる。効率は空洞の形状により、 $\eta_o = 0.5 \sim 0.8$ の範囲を取る。

3-3. レーザートロンパラメーター

	LT-150	LT-300		LT-150	LT-300
周波数 [MHz]	2856	2856	電流 [A]	60	310
出力 [MW]	2.0	50	カソード直径 [cm]	3	4
パルス幅 [μ sec]	0.2	1.0	繰り返し [Hz]	1	5
加速電圧 [KV]	100	300			

参考文献

1. 吉岡正和 他; 第9回リニアック研究回、S-59-07
2. 宮尾正大 他; 負電子親和力GaP表面の研究
3. C. K. Sinclair and R. H. Miller ; A HIGH CURRENT, SHORT PULSE, RF SYNCHRONIZED ELECTRON GUN FOR STANFORD LINEAR ACCELERATOR, IEEE Vol. NS-28, No. 3, June 1981
4. 吉岡正和 他; GaAs活性化試験、Linear Collider Study Note, 86/03/18
5. 新竹積 ; レーザートロン実験用レーザーシステム案、Linear Collider Study Note, 86/02/25