

PLA / 93 / 8

93 / 4 / 28

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) Feasibility of a Fast Beam Chopper using Laser Stripping of H⁻

著者 (AUTHOR) T. Kato

概要 (ABSTRACT)

短パルスレーザーが負水素を中性化する現象を、速いビーム
チョッパーに利用する提案をする。問題は殆どレーザーの性能
に依存する。

KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics,

Transport, Vacuum, Cooling

Klystron, Low level rf, High power rf, Modulator

Control, Operation, Radiation, Others

Feasibility of a Fast Beam Chopper using Laser Stripping of H

930427 T. Kato

4通りの方式を提案する。組み合わせ方が多く考えられるので、図によって示す。

- 1) イオン源とRFQの間にLASERを入れる。(図1)
- 2) RFQ-1とRFQ-2の間にLASERを入れる。(図2)
- 3) RFQとDTLの間にLASERを入れる。(図3)
- 4) CCLの後ろにLASERを入れる。(図4)
- 5) イオン源とRFQの間に traveling type の deflector を入れる。(図5)
- 6) イオン源にて、運動エネルギーに変調をかけて、RFQの縦方向のアクセプタンスからはずす。(図6)
- 7) RFQとDTLの間にRF beam chopperを入れる。(図7)

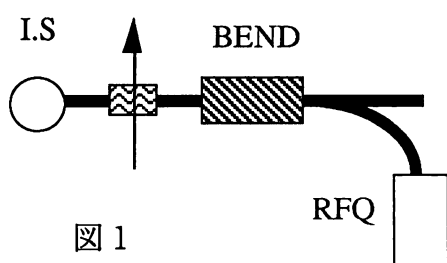


図1

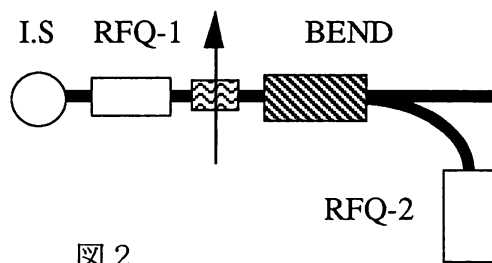


図2

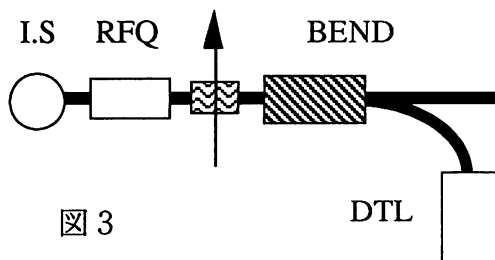


図3

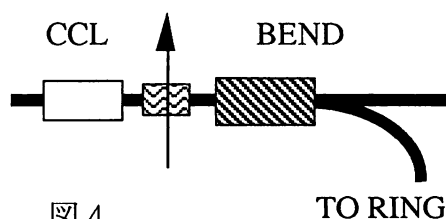


図4

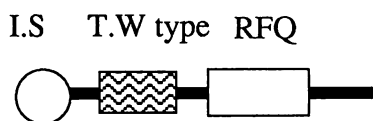


図5

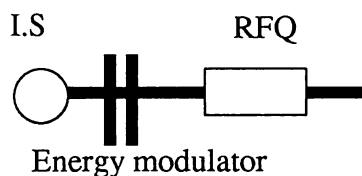


図6

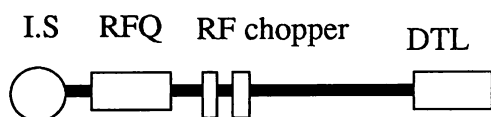


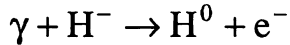
図7

(7)については以前に述べたが、立ち上がりに少し問題がある。(5)はすでに外国で採用されている。(6)は今後の検討を待つ。ここではLASER法の可能性を検討する。この方法は基本的には荷電変換するという意味で可能である事が示されている(Ref.1)。特徴は、広いビームエネルギーにわたって断面積が維持されるので、1 GeVのビームをもチョップする事もできる、立ち上がりと下がりが多い、チョップの後でベンドを入れる必要がある、等が考えられる。

まず、Ref.1を紹介して、その後LASERについて検討を加える。

Production of Pulsed Particle Beams by Photodetachment of H⁻

H. C. Bryant and P. A. Lovoi, and G. G. Ohlsen, Phys.Rev.Let., 27 (1971) 1628.



a threshold at a photon energy of 0.77 eV

a broad peak at 1.5 eV

the maximum cross section is about $4.2\text{E-}17 \text{ cm}^2$

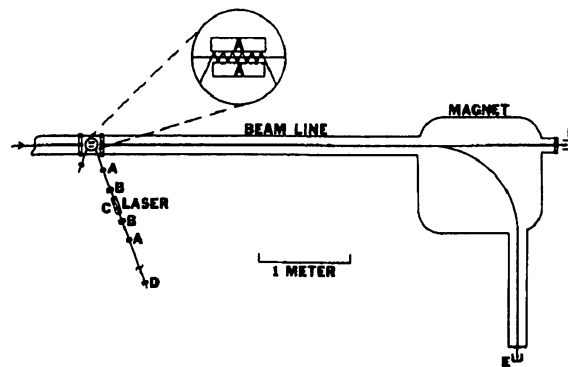


FIG. 1. Schematic of experimental arrangement.
A, dielectric mirror; B, dye cell; C, Nd:glass rod;
D, photodiode; E, Faraday cup.

two parallel dielectric mirrors with 1- cm spacing, reflectivity $R=0.9995$
eleven reflection at 20 degrees --> increasing photon target thickness

Laser

a water-cooled, 0.78 cm-diam Nd:glass-rod oscillator in an open cavity
mirror spacing of 80 cm

Q switched using two dye cells (Kodak 9860)

diameter 6 mm, divergence 2.6 mrad

FWHM is 20 - 40 nsec, 50 - 100 mJ for each pulse

the known cross section $3.9\text{E-}17 \text{ cm}^2$ for Nd wavelength $1.06 \mu\text{m}$

H⁻ beam

4 MeV ($\beta = 0.092$), $4 \mu\text{A}$ from Van de Graaff

5 mm diameter

Faraday cup for undeflected neutral beam

$1.13 \mu\text{m}$ Ni stripping foil

0.72 V pulse for $10\text{E-}13 \text{ C}$ of charge

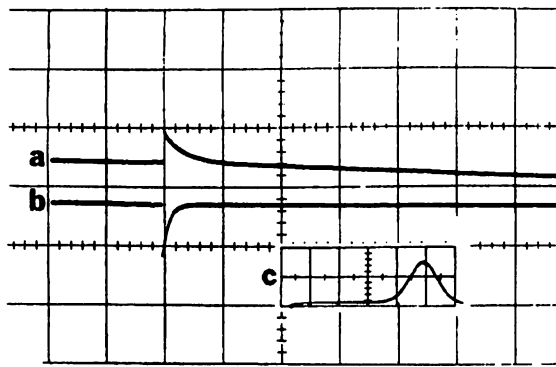


FIG. 2. Oscilloscope traces. (a) Undeflected beam current in Faraday cup (2 V, 100 μ sec per large division); (b) integrated photodiode current (0.2 V, 100 μ sec); (c) corresponding instantaneous photodiode current (19.8 V, 10 nsec).

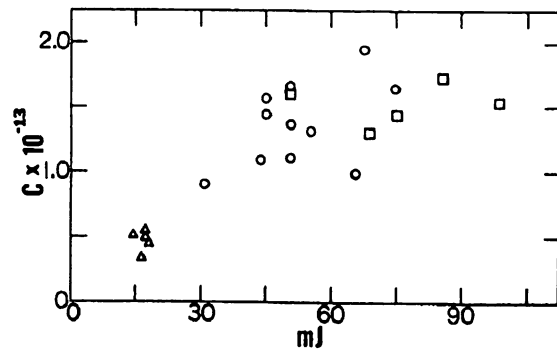


FIG. 3. Detached charge versus effective laser energy. The various symbols correspond to data taken under the following conditions: triangles, return mirror and heat-absorbing glass; squares, return mirror only; and circles, "normal" conditions.

Ref 1 の結論 100% 近い効率で変換出来た。

example-2 JHP beam

20-mA beam, $R=0.3$ cm,

$\beta = 0.08$, $\alpha = 70$ deg, $h = 6.626E-34$ Js, $\lambda = 1.06$ μ m, 100 nsec pulse

$$Q_{\text{beam}} = 20 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-9} = 2 \times 10^{-9} \text{ Coulomb}$$

$$N_{\text{proton}} = \frac{2 \times 10^{-9}}{1.602 \times 10^{-19}} = 1.25 \times 10^{10}$$

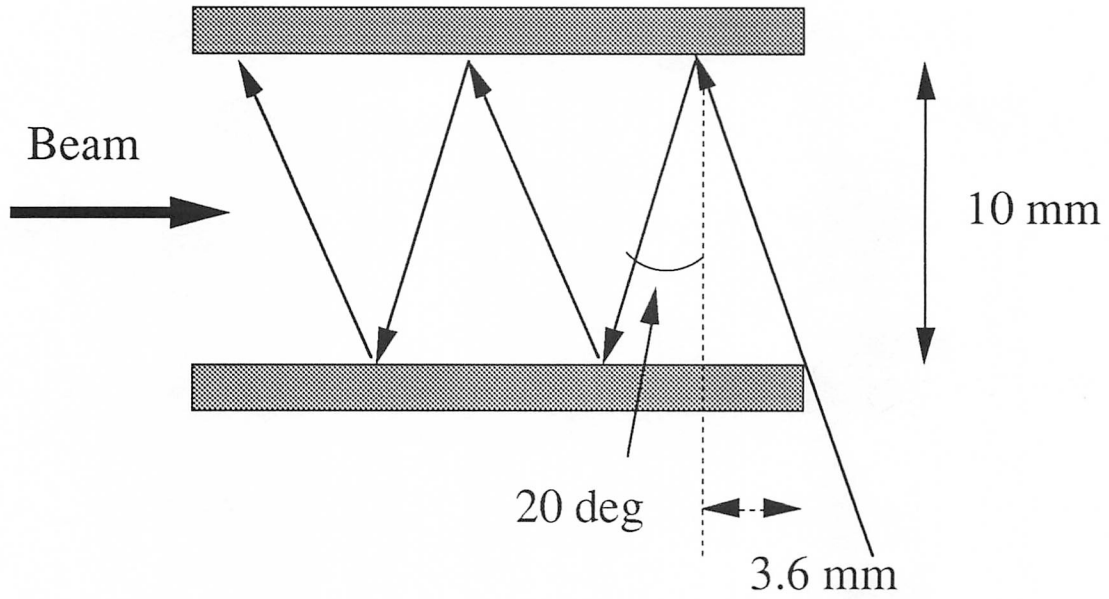
$$N_m N_{\text{photon}} = Q_{\text{beam}} \frac{3\pi^2 R c}{16\sigma I} \frac{\beta \sin \alpha}{1 + \beta \cos \alpha}$$

$$= 2 \times 10^{-9} \times \frac{3\pi^2 0.3 \times 3 \times 10^{10} \times 0.08 \sin 70}{16 \times 3.9 \times 10^{-17} \times 20 \times 10^{-3} (1 + 0.08 \cos 70)}$$

$$= 3.125 \times 10^{18}$$

N_m = number of reflection

N_m	N_{photon}	W_{laser} (joule)	P_{peak} (kW)
10	3.125E18	0.0586	586
100	3.125E17	0.00586	58.6
1000	3.125E16	0.000586	5.86



Silicon Carbide mirrors with reflectivity $R=0.9995$ (Ref.2)

Attenuation vs. number of reflection

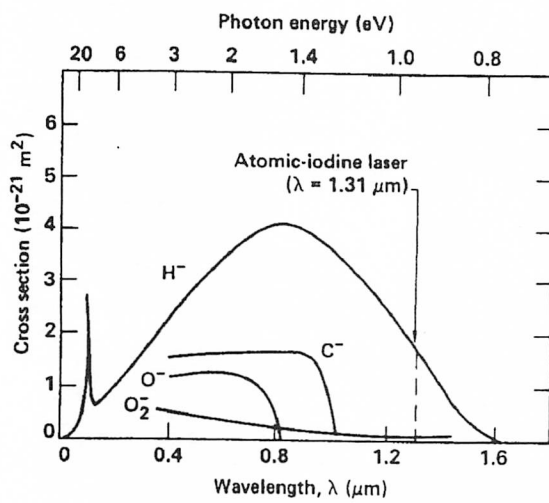
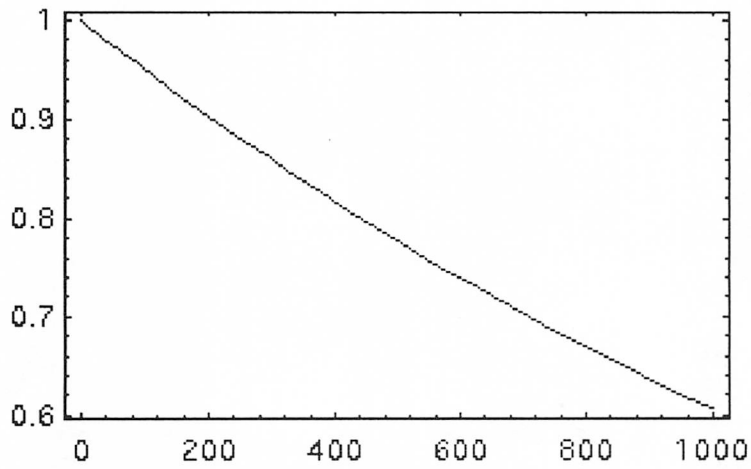


Fig. 8. Photodetachment cross section of negative hydrogen, carbon, oxygen, and oxygen molecules. (Adapted from Ref. 11.)

the number of events

$$N = \sigma(1 + \beta \cos \alpha) c \int \rho_a \rho_b dV dT$$

σ = the cross section, T = the time interval, V = the intersection volume

$\rho_a \rho_b$ = the particle densities, βc = the velocity of the beam

α = the laboratory angle between two beams ($\alpha = 0$, head-on collision)

assumption

$\rho_a \rho_b$ are constants during interval T and V defined by two circular beams of radius R

the charge released by a laser pulse of N photons crossing beam current I is

$$Q = \frac{16\sigma N I (1 + \beta \cos \alpha)}{3\pi^2 R c \beta \sin \alpha}$$

example-1

a 15-mJ laser pulse, 4- μ A beam, 12 times intersections, $R=0.3$ cm

$\beta = 0.092$, $\alpha = 70$ deg, $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js, $\lambda = 1.06$ μ m

$$Q = 1.06 \times 10^{-13} \text{ C}$$

$$h\nu = 6.626 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{1.06 \times 10^{-6}} = 1.875 \times 10^{-19} \text{ Joule} = 1.17 \text{ eV}$$

$$N = \frac{0.015}{1.875 \times 10^{-19}} = 8.00 \times 10^{16} \text{ photons}$$

$$P_{\text{peak}} = \frac{0.015}{30 \times 10^{-9}} = 0.5 \text{ MW}$$

$$Q = 12 \times \frac{16 \times 3.9 \times 10^{-17} \times 8 \times 10^{16} \times 4 \times 10^{-6} (1 + 0.092 \cos 70)}{3\pi^2 \times 0.3 \times 3 \times 10^{10} \times 0.092 \sin 70}$$
$$= 1.07 \times 10^{-13} \text{ coulomb for detached protons}$$

Beam current

$$Q_{\text{beam}} = 4 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^{-9} = 1.2 \times 10^{-13} \text{ coulomb for protons}$$

$$N_{\text{proton}} = \frac{1.2 \times 10^{-13}}{1.602 \times 10^{-19}} = 7.5 \times 10^5 \text{ 個}$$

LASER について

Nd: YAG LASER の発振形態 (Ref.3)

*パルス発振+Q スウィッチパルス法+ EO 変調器

peak 100 MW, pulse length 20 nsec, repetition 20 Hz が可能である。

$$W=100E6 * 20E-9=2 \text{ joule}$$

peak は 10 MW で充分であれば

$$W=0.2 \text{ joule}$$

これでは繰り返し周波数 3 MHz がむづかしい。

*連続発振+Q スウィッチ+AO 変調器

peak 10 - 50 kW, pulse length 50 - 300 nsec, repetition 50 kHz, $P_{ave}=200 \text{ W}$ が可能である。

peak 50 kW, 100 nsec, 50 Hz の時 $P_{ave}=50E3 * 100E-9 * 50=0.25 \text{ W}$ だから可能。

$$W=50E3 * 100E-9=0.005 \text{ joules}$$

$$N_{\text{photon}}=0.005/1.875E-19=2.77E16$$

example-1 の単位時間当たりのphoton は $8E16/30E-9=2.7E24$ 。

上の例では、 $2.77E16/100E-9=2.77E23$ 。従って約 10 倍の強度が必要となるが、

- 1) 10 台のレーザーの並列運転、
- 2) optical resonator により強度を稼ぐ方法

が考えられる。Ref. 4 では enhancement factor=55 を得ている。

Ref. 1 では 12 回の反射を使っている。

これでも繰り返し周波数 3 MHz がむづかしい。

*パルス発振、ノーマルパルス peak 20 kW, 100 μsec , 繰り返し 100 Hz + 外部変調器

外部変調器が 100 nsec の変調をかけられれば可能性がある。強度と時間はなんとかなりそう。

結論

将来性がある方法であり、開発する価値がありそう。

References

- 1) Phys.Rev.Let., 27 (1971) 1628.
- 2) Technology of a Laser Resonator for the Photodetachment neutralizer, AIP(1984)568.
- 3) 先端レーザーテクノロジー(1992)p.71.
- 4) IEEE NS** (1989)414.
- 5) IEEE J. Quantum Electronics, 28(1992)977.