

T. Kobayashi, T. Ueda, H. Kobayashi, M. Washio and Y. Tabata

Nuclear Engineering Research Lab., Fac of Eng. Univ. of Tokyo

ABSTRACT

Recently a hall element which has a very high time response of less than 1 ns has been developed. Electron beams accelerated by the linac at N.E.R.L. were monitored by using this fast hall element. The output intensity of this monitor is a function of the beam current and the beam energy. The monitor has a wide band frequency response and is expected as a time resolved energy monitor.

序) 加速器におけるビームモニタの重要性は実験の精度が向上し、ビームの特性を正確に知りたいとの要求が高まるにつれ増大してきている。つまりビームの持つ情報を非破壊的に簡便に知る事が実験上不可欠になってきている。これらを反映してここ数年、加速器の研究会等でのビームモニタの発表件数は多くかつかなり性能の良いものも製作されはじめている。ここでは最近新しく開発されている高速度のホール素子を用いた非破壊ビームモニタの試験について報告する。このモニタはパルス内のエネルギー分布を含めた電流情報を知ることに対して有効でありかつ800 ps~直流迄の非常に広帯域のモニタとして期待できる。

ホール素子の構造) ホール素子は、ホール効果を用いた半導体素子である。ホール効果とは Fig-1 に示した厚さ d の半導体の表面に磁束 B を加える。半導体に電源を印加し素子電流 I_H を流す。磁束 B 、素子電流 I_H により出力電圧 V_H が生ずる。出力電圧 V_H と磁束 B との関係は

$$V_H = \frac{R_H}{d} \cdot I_H \cdot B \cdot \cos\theta + K I_H$$

R_H : ホール系数

$\cos\theta$: ホール角

K : 不平衡定数

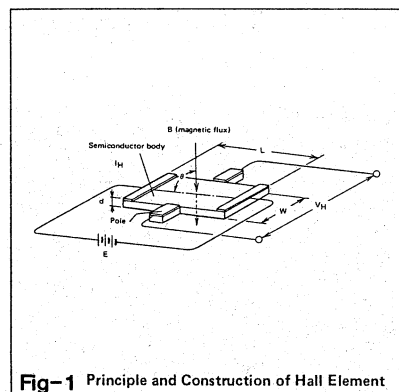


Fig-1 Principle and Construction of Hall Element

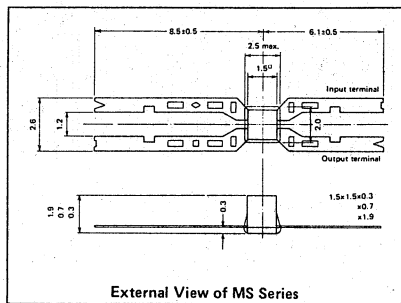


Fig-2 ホール素子の形状

今回使用したホール素子の形状を Fig-2 に出力特性を Fig-3 に示す。

項目	名	07 F
寸法	Size (mm)	0.7
出力電圧	Output voltage (mV)	40~290
最大電流	Maximum current (mA)	80
最適電流	Optimum current (mA)	50以下 Less than 50
入力抵抗	Input resistance (Ω)	8~50
出力抵抗	Output resistance (Ω)	8~55
動作温度	Operating temperature range ($^{\circ}\text{C}$)	-40~100
保存温度	Storage temperature range ($^{\circ}\text{C}$)	-50~120
温度係数	Temperature coefficient	
	(%/ $^{\circ}\text{C}$, 25 $^{\circ}\text{C}$) (R_{out}) (R_{in})	-2
	(V_H out 1 KG)	

Fig-3 出力特性

ここでセンサーに用いている半導体の材料はインジウムアンチモン ($InSb$) である。

測定方法) Fig-4 の体系で、ライナックのビーム窓に近接させてホールセンサーを置き、その後同軸タイプのビームキャッチャーを置いて、ホール素子からのシグナルと同軸キャッチャーのシグナルの各々を測定室にてトランジェントディジタイザーを用い測定した。また定常モードビームの測定は、オシロスコープで制御室にて測定した。

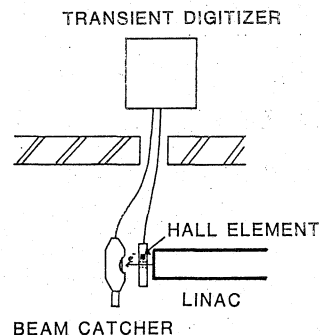


Fig-4 フロウ図

測定結果) ホール素子モニターは、従来のライナックに使用されているコアモニターと違い、コアモニターの磁界積分型に対し点磁界型で出力を出す事が判った。したがって、相対論場で作られる磁場はビームエネルギーの項が大きく作用する為にはホール素子はエネルギーモニターとして使用できる事が明らかになった。では測定結果について説明を行なう。Fig-5は10nSビームを同軸キャッチャーで測定した波形である。ピーク電流値420mA、4.2nC/PULSEである。その時のホール素子モニターの出力がFig-6である。出力波形について検討を行なう。電子が光速に近い速度で飛行して作られる電磁場(相対論場)では電場は

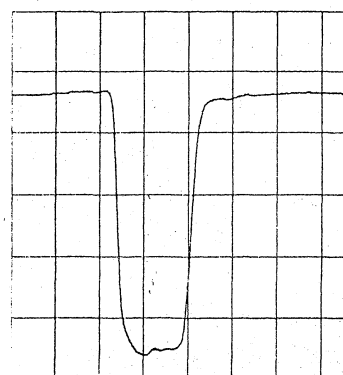


Fig-5 ビームキャッチャー波形 2V/div.(25n) 5ns/div.

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{1-\beta^2}} \cdot \frac{1}{y^2} \text{ で表わされ、}$$

磁束密度Bは $B = \frac{v \times E}{c^2}$ で表わされる。

ここでは $v \approx c$ であるから

$$B = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 c \sqrt{1-\beta^2}} \cdot \frac{1}{y^2} \text{ --- (1) である。}$$

また $\beta = \sqrt{v^2/c^2} = v/c$, $\gamma = 1 + eU_0/m_0c^2$
 eU_0 : 電子のエネルギー
 m_0c^2 : 電子の静止エネルギー
 y : ビームからの距離

10 nS ビームは、約10 PS 幅のビームが350PS 毎に約29本のパルスが集まったビームで1本当りのビームの電荷量

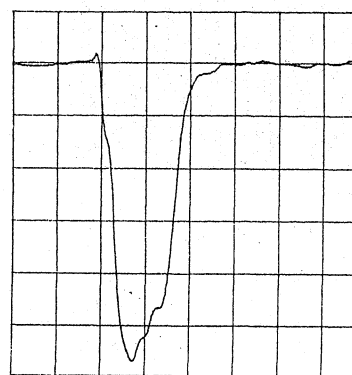


Fig-6 ホール素子出力 0.1V/div.(50n) 5ns/div.

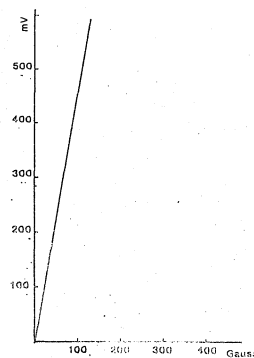


Fig-7 出力特性

は $4.2 \text{ nC}/29$ で約 145 pC である。ビームからの距離 5 mm ビームエネルギー -35 MeV $E(1)$ 式に代入すると磁束密度は $0.0121 [\text{Wb}/\text{m}^2]$ したがって 121 Gauss となり Fig-7 の出力特性表から 550 mV である。これは Fig-6 の出力にほぼ一致している。Fig-6 のサグは 1 MeV のエネルギーの違いで表われる出力である。 10 ns ビームのエネルギーの半値幅 $\Delta E/E$ は 2.4% したがって約 1 MeV のエネルギーの幅を持っておりこれもよい一致を見た。これよりホール素子モニタの出力は、時分割されたエネルギー分布を測定できる事が判った。 Fig-8, 9, 10 は、それぞれ 100 ns , $1 \mu\text{s}$, $4.5 \mu\text{s}$ ビームのモニタ波形で、上が同軸キャッチャー、下がホール素子モニタの出力である。たとえば、Fig-9 の同軸キャッチャー出力がビーム電流 140 mA パルス幅 $1 \mu\text{s}$ では、 10 ns ビームの時の計算と同様にパルスの本数は $1 \mu\text{s}/350 \text{ ps}$ で 2857 本、したがって1本当たりの電荷量は $0.14 \mu\text{C}/2857$ で 49 pC である。距離 5 mm , エネルギー -25 MeV , 電荷量 49 pC $E(1)$ 式に代入すると 29 Gauss となり Fig-7 より 120 mV の出力が得られるはずである。これは Fig-9 のホール素子出力にほぼ一致している。また本加速器のフリンギングタイムは $0.6 \mu\text{s}$ である。この間のエネルギーが高いことが Fig-9 のホール素子出力に表われている。

(100ns BEAM)

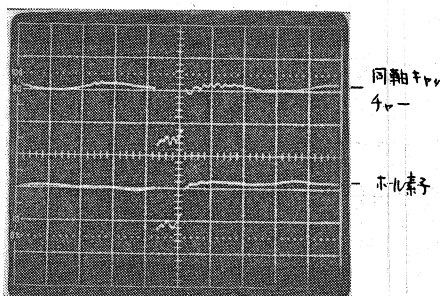


Fig-8

同軸キャッチャー : $100 \text{ mA}/\text{div.}$

ホール素子 : $100 \text{ mV}/\text{div.}$
 $100 \text{ ns}/\text{div.}$

考察)

(1us BEAM)

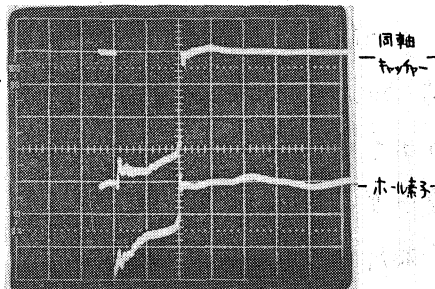


Fig-9

同軸キャッチャー : $40 \text{ mA}/\text{div.}$

ホール素子 : $50 \text{ mV}/\text{div.}$
 $0.5 \mu\text{s}/\text{div.}$

(4.5us BEAM)

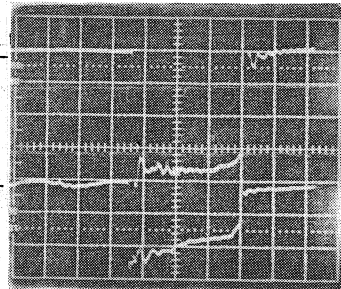


Fig-10

同軸キャッチャー : $40 \text{ mA}/\text{div.}$

ホール素子 : $50 \text{ mV}/\text{div.}$
 $1 \mu\text{s}/\text{div.}$

- 1) ホール素子センサは、ライナックビームエネルギーモニタとして非常に有用である。しかし、ノイズ、温度特性などの問題も残っている。
- 2) ホール素子を用いてビームポジションモニタなどの応用面も考えておく予定である。