電総研電子ストレージリングの真空 系についての基本設計*

平田 正紘**・菅原 冬彦**・清水 肇**・冨增多喜夫**

(昭和56年1月27日 受理)

Fundamental Design of Vacuum System for ETL Storage Ring

Masahiro HIRATA, Fuyuhiko SUGAWARA, Hazime SHIMIZU
and Takio TOMIMASU

(Electrotechnical Laboratory, 1-1-4 Umezono, Niihari, Ibaraki 305)

(Received January 27, 1981)

1. はじめに

電子ストレージリングは、シンクロトロン軌道放射 (SOR) によって可視、紫外、真空紫外および軟X線領域にわたって強い連続スペクトルを放射する。

従来から使用されているX線管や気体の放電などの光源に較べて、SOR光は、広い波長領域にわたって輝度の高い連続スペクトル光で、安定性もよい。ほぼ平行光線とみなす事ができ、鋭い偏光性を有する。幅 $\sim$ ns、繰り返し周期10 $\sim$ 100 MHzのパルス状光源であり、強度、角度分布、偏光性等が理論的に計算できるなどの特徴を有する。

このようなSOR光は、真空紫外光、軟X線の領域において近年注目されている、核融合プラズマ、及び宇宙放射線等の計測標準として、超LSI製作におけるリソグラフィ用光源として、材料、表面の分光研究用光源として非常に有効である。

電子ストレージリングは、国内においては東京大学物性研のINS-SOR¹⁾をはじめとし、海外ではウィスコンシン大学のリング²⁾、DESYのDORIS³⁾、スタンフォード大学のSPEAR⁴⁾など10台余りがすでに稼動中である。電総研においてもこの度の筑波転移を機会に、SOR光の利用を主体にした電子ストレージリングを建設中である⁵⁾。

Table 1 に示したように、昭和46年度に計画が発案さ

Table 1 Construction schedule of ETL SOR-RING.

46年	計画の発案
47年	改善計画書(筑波移転計画)
49年	SOR-RING調査研究グループ発足
51年	SOR-RING調査報告書(基本設計)
52年	放射線安全検討委員会
53年(春)	建物実施設計
(夏)	建物着工
(秋)	SOR-RING本体実施設計
54年(秋)	ライナック・SOR-RING 本体発注
55年(3月)	建物完成
(9月)	SOR-RING本体第2次発注
(12月)	マグネット・真空系納入予定
56年(3月)	組立完成予定
(9月)	打込み開始予定

Table 2 ETL SOR-RING key specifications.

General		
Energy	600	MeV
Current	100	mA
Mean diameter	10	m
Photon wave length	0.7-1000	nm
Magnet		
Radius	2	m
Bending magnet	10	kG
Quadrupole magnet grad.	1.2	kG/cm
RF section		
Frequency	162.3	MHz
Power	10	kW
Injector		
Linear accelerator	300	MeV

*昭和55年11月12日第21回真空に関する連合講演会で講演(12a-11)

**電子技術総合研究所(茨城県新治郡桜村梅園1-1-4)

Fig. 1 The layout of ETL SOR-RING and LINAC.

れ、54年度に建物の建設を完成し、装置全体は54年度から製作が開始されている。

2. 電総研ストレージリングの概要

Table 2 に、装置全体の主要な仕様を示した。電子の加速と蓄積を行う軌道の平均直径は約10mである。目標では、最大 600 MeV の電子を 100 mA まで蓄積する。

8ヶ所の偏向電磁石はそれぞれ曲率半径 2 m、最大磁場10 kG である。加速する電子ビームの収束を行う12ヶ所の四極子電磁石の磁場勾配は最大1.2kG/cm である。

Fig. 1 には、加速器全体の配置を示した。電子ストレ

Table 3 Plan of the pumping system of ETL SOR-RING.

Main pumping system	8700 1/s
Straight section	
SIP	200 1/s x 4 = 800 1/s
TGP	1000 1/s x 4 = 4000 1/s
Q section	
SIP	200 1/s x 4 = 800 1/s
Bending section	
SIP	200 1/s x 8 = 1600 1/s
RF section	
SIP	500 1/s x 1 = 500 1/s
TGP	1000 1/s x 1 = 1000 1/s
Roughing pumps	500 1/s
TMP	250 1/s x 2 = 500 1/s
RP	(300 1/m x 2 = 600 1/m)

Fig. 2 The relation between the intensity and the wave length of SOR light.

ージリングへの電子入射には、並行して建設中のリニアックを使用する。300 MeVで打込み、最終的には高周波加速により600 MeVまで加速する。高周波加速空洞は、Reentrant 型で、共振周波数 162.3MHz、最大入力電力 10kW である。

SOR 光を取り出すビームラインは最終的には4本設置される。**Fig. 2** に示すように、蓄積する電子のエネルギー、磁場、電流の値から、波長領域0.7~1,000 nm の光が取り出せる予定である⁶⁾。赤外可視域における黒体を用いた分光放射標準 (2,500~250 nm) に接続して、分光放射一次標準としてその波長域を超軟X線の領域まで拡

Fig. 3 Schematic drawing of the vacuum system of ETL SOR-RING.

張できる。放射光は短波長側に臨界波長を持つので、電子エネルギーを選択することにより、スペクトルの短波長端を広い範囲で自由に変えることができる。

3. 真空系

3.1 真空度と真空の質

電子ビームの寿命は多くの場合、真空容器中の残留ガスとの衝突によって決まる。 10^{-7} Pa程度の圧力で半減期はおおよそ数時間である。このため多くのリングでビームの回らない状態での圧力として 10^{-8} Pa程度という値が、おおよその設計目標とされている。

圧力だけでなく真空の質も重要で、残留ガスに炭化水素系の気体成分が多いと、真空容器の内壁が汚染される。SOR光の照射や、エネルギーを失ってビームから離脱した電子の衝突などによってガス放出が多くなり、その結果必要な圧力までの排気が困難になる。また、分子量の大きい残留ガスは散乱断面積が大きいため、電子ビームの寿命を短かくする。したがって、最近建設されたリングの排気系の主流はスパッタイオンポンプである。

電総研リングについても清浄な超高真空を目標とし、主排気系は標準型および組込み型のスパッタイオンポンプとし、粗引き系はターボ分子ポンプと油回転ポンプの組合せとした。圧力はビームのない状態で 4×10^{-8} Pa、運転時 4×10^{-7} Paを当面の目標にした。

3.2 真空容器の材料と放出ガス速度

リングの真空容器は本質的に細長管状構造であり、放出ガス速度をある一定量以下におさえなければ、コンダクタンスの制限により超高真空に排気できない。

また、リングは直径10mにもなるが、mm単位以内の寸法精度、特に電磁石の部分については0.1mm単位の精度で設置する必要がある。したがって、真空容器の材料はガス放出が少ないことはもちろん、精密加工のため機械加工性や溶接性が高く、機械的強度も高いことが必要である。

したがって、通常の真空装置はもちろん、ほとんどの加速器にもよく使用されている304ステンレス鋼を採用した。但し、偏向部は非磁性の316Lステンレス鋼を使うことにした。

ステンレス鋼の放出ガス速度は、未処理で $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa $\cdot$ m 3 /s $\cdot$ m 2 、よく枯れた系で 10^{-6} Pa $\cdot$ m 3 /s $\cdot$ m 2 、350℃で5時間ベーキングして 2×10^{-9} Pa $\cdot$ m 3 /s $\cdot$ m 2 以下にすることも可能である⁷⁾。

電総研のリングの場合、分子ポンプで排気しながら高真空下で200℃のベーキングを行う。主排気系のスパッタイオンポンプは $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Paまで粗引きした後始動させる。ゲッタポンプは実際にビームを貯えた時運転する。先ず最初はリングの清浄化の目的にビームを走らせ、シンクロトロン放射でガス出しを行う。以上の手順で 7×10^{-9} Pa $\cdot$ m 3 /s $\cdot$ m 2 以下の放出ガス速度になると予想される。

3.3 真空容器の形状と真空ポンプの配置

Fig. 3には、真空容器の形状と真空ポンプの配置を示した。リングは直径がほぼ10mで、その全長は約32mに達する。パイプのコンダクタンスで実効排気速度が制限されるので、ポンプは極力分散した。

8ヶ所の偏向部は各々曲率半径2m、偏向角度45°、真空容器の長さ1.6mである。SOR光の照射による多量の器壁からの放出ガスは、偏向用電磁石の磁場を利用した組込み型のスパッタイオンポンプで排気する。容器の断面は高さ37mm、幅166mmで、ポンプのセルはSOR光の取出しを妨げないよう容器の内側に設ける。

4ヶ所の四極子電磁石部は、その中で加速される電子ビームの形状に合せて、断面は52mm $\times$ 110mmのレーストラック形のパイプである。長さは2.9mに達するのでとりあえず200 l/sのイオンポンプを1台ずつ取付け、将来必要になった時は増設できるような予備ポートを用意した。

4つの直線部の長さは各々1.8mである。真空容器は基本的には直径200mmのパイプを使用し、ここに排気系を集中させた。各々200 l/s程度のイオンポンプとチタンゲッタポンプを取付けた。高周波加速空洞の部分は加速時に多量の放出ガスが予想されたので、500 l/sのイオンポンプとチタンゲッタポンプとを追加して排気速度を大きくとった。入射部とキッカー部には、粗引き用の

ターボ分子ポンプを取付けた。

Table 3 には、計画した真空ポンプの排気速度の一覧を示した。リングの内表面積はほぼ 12 m^2 で、単位面積当りの放出ガス量を $7 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ とすると、全放出ガス量は $8.4 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ になる。 $3 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ を得るに必要なポンプの排気速度は $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ である。パイプのコンダクタンス等による実効排気速度の低下を考慮し、排気速度は安全度も含め全体で $9 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度を計画した。

フランジは全てコンフラットフランジを採用した。真空容器は全て $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以内の精度で設置するため、逃げとして18ヶのベロー継手を使用し、その内2ヶは高周波加速空洞の絶縁と直接通電によるベーキングのためセラミック付とした。

圧力 10^{-8} Pa 程度のビームトランスポート系と、リング本体の超高真空部との隔離はカプトン膜で行う。SOR光を取出すビームラインとの接続は、差動排気系を介して行う。

上記の設計によれば、リング内の圧力は $2 \sim 6 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ におさまる予定である。

4. おわりに

電総研で現在建設中の電子ストレージリングの真空系

について行った設計検討では、清浄な超高真空を目標とし、ビームの回ってない状態での圧力は $3 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ 、運転中は $3 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ を目指して、真空ポンプの選択や配置などを決めた。

独立した製作と実験が可能な高周波加速空洞は、ストレージング本体より先行して製作し、試験をすでにすませた。到達圧力は約 $1.5 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ で、高周波を加えた状態で $5 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ が得られ、実際のリングへの使用に対し見通しを得た。本体の製作は現在進行中であり、昭和56年3月には設置を終了する予定である。

〔文 献〕

- 1) 東京大学物性研 SOR-RING-REPORT
- 2) Note on the 8th Annual Synchrotron Radiation Users Group Conference, Oct. 20~22, 1975, Phys. Sci. Lab., University of Wisconsin.
- 3) E. E. Koch, C. Kung: Synchrotronstrahlung bei DESY.
- 4r U. Cummings, N. Dean, F. Johnson, J. Jurow, J. Voss; J. Vac. Sci. Technol., **8** (1971) 348.
- 5) 大場他: 電子技術総合研究所調査報告第191号
- 6) J. Schwinger: Phys. Rev. **75** (1949) 1912.
- 7) R. Calder, G. Lewin: Brit. J. appl. phys., **18** (1967) 1459 など.