

PRODUCTION AND HIGH POWER TEST OF AN S-BAND SLED WITH DUAL SIDE-WALL COUPLING IRISES

Kunio SUZUKI, Hitoshi BABA, Kibatsu SHINOHARA
*Hiroshi MATSUMOTO, *Seiya YAMAGUCHI,
AND Atsushi MIURA

NIHON KOSHUHA CO., LTD
1119 Nakayama-cho Midori-ku Yokohama-shi
Kanagawa-ken

*KEK National Laboratory for High Energy
Physics 1-1 Oho, Tsukuba-shi Ibaragi-ken

ABSTRACT

An S-band SLED Cavity with two coupling irises has been produced by Nihon Koshuha Co.Ltd. After the 500h, the input power was increased up to 80MW with 4.5 μ s pulse width. It was successfully operated at an output rf-power of 380MW with 1 μ s pulse width without any serious breakdown problem.

S-バンド 2孔結合型 SLED空洞の製作と結果

1. はじめに

現在KEKで、JLC計画のR&Dが進行中である。加速電界はSバンドで40MV/m, Xバンド100MV/mである。これには加速管一本あたりSバンドで200MW, Xバンドで120MWのピーク電力が必要である。現在では大電力の高周波源として、クライストロンが最適であると思われる。現在の最大級Sバンド・クライストロンは、ドライブ電圧(391/444)kV, ピーク出力(85/100)MW, パルス幅(4.5/1.0) μ sec, 繰り返し50Hzである。この出力を約5倍に増強することは、技術的に非常に困難である。これを解決する方法として、SLACで共振モードTE015の空洞を利用したパルス圧縮が開発された[1]。これがSバンドで用いられているSLED (Stanford Linear accelerator Energy Doubler) と呼ばれるものである。SLEDは2個の共振空洞と1台の-3dBカップラーで構成し、一定時間空洞にエネルギーを蓄積し、それを短いパルス内に放出することが可能である。しかし、クライストロン出力電力がおおよそ60MWを超える頃より、共振空洞の結合孔から放出した電子が共振空洞の励振モード(TE015)で加速され、強いX線を放射する問題がある。そこで我々は、KEK-JLCグループとの共同開発を行ない、結合孔に生じる電場を弱め放出電子を減少させるために結合

孔を2個にし、結合場所を導波管側面にした改良形SバンドSLEDの製作に成功した[2][3]。実機は、KEK-JLCグループで大電力試験を行った。

2. 2孔結合型SLEDの構成

基本構成は-3dB方向性結合器と2個の共振空洞から構成される。

共振空洞

入力電力	85MW
出力電力	400MW
パルス幅	4.5 μ sec
ピーク電力利得	4.7
繰り返し	50Hz
運転周波数	2856MHz
共振モード	TE015
空洞寸法	直径 ϕ 205.1mm
	長さ 335.7mm
結合孔数	2
結合孔位置	導波管側面
結合孔寸法	直径 ϕ 29.78mm
	厚さ 12.0mm

-3dB方向性結合器

最大通過電力	400MW
パルス幅	1 μ sec
繰り返し	50Hz
結合度	-3.0 \pm 0.05dB

方 向 性	40 dB以上
V S W R	1.1以下
真 空 度	1×10^{-9} Torr以下
ガ ス 放 出 量	1×10^{-9} Torr以下
冷 却	水冷 純水
流 量	40 l/min
水 圧	7~8 kg/cm ²

2-1 動作原理

SLEDはSLACで開発されたもので、その動作原理は多くの文献に示されている[1]。ここではその概要を述べる。クライストロン出力が-3dB方向性結合器を通し、2個の空洞共振器に励振エネルギーを十分に蓄積した後に、クライストロンの出力パルスをもから π に高速位相反転させることにより、蓄積エネルギーはクライストロン出力と合成され、パルス幅が圧縮され4~5倍のピーク出力が得られる。

2-2 結合方式

SLAC形SLEDの大電力(65MW)運転では、結合孔で発生した電子が励振電場で加速され、強いX線を放射することが大きな問題となっている。JLC-ATFのSLEDでは入力電力65MWより更に大きい85MWの運転を行なうため、放出電子が更に増加しX線のみならず結合孔での放電が発生し安定な運転ができなくなる。この対策として結合孔を2個にし、導波管側面で結合させて電場を弱める工夫をしている。2孔結合励振は1孔結合励振と比較し、約1.58倍の電力で励振可能であり、更に導波管側面に結合孔を置くことにより励振電力は大きくなり、約1.67倍となる。

3. 製作方法について

本SLEDはクライストロン出力からの85MWパルスのマイクロ波を入力し、400MW相当のパルス大出力を発生させる装置である。このような高電界に耐え得る実用的なSLEDを実現するため、下記のような注意及び考慮を払い製作を行なった。

3-1 結合孔及び空洞内壁における表面の清浄度

本装置で最も放電しやすい部分である結合孔の洗浄は、充分に行なう必要がある。この部分に付着した油脂、ほこり、手脂、金属片等は、電界放出係数を大きくする。ここで放出した電

子は空洞内で励振モードにより加速され、非常に強い放射線を発生させる。また、空洞の真空度(1×10^{-9} Torr)をよくするのに長い時間を要し、実用上使用不可能になる。従って、その洗浄方法及び保管輸送中の付着について充分注意を払う必要がある。

- 洗浄方法や洗浄後の切削油残留量が極めて重要になる。結合孔の機械加工後の洗浄で出来るだけ油脂類の除去に努め、更にその後の付着防止に注意を払う必要がある。
- 洗浄後の結合孔及び空洞部品の保管についても極めて重要である。各部品をアッセンブリする時には、油脂類の付着やダストの侵入を防ぐ必要がある。これを怠ると真空ロー付が失敗する原因になる。保管は真空又はN₂ガス入のデシケータに保管する。
- 真空炉内でロー付け中に結合孔及び空洞内部へダストが付着するのを押さえる必要がある。従って、ロー付作業前に真空炉内の掃除のため、からたきをする必要がある。
- 結合孔及び空洞壁部品をヤスリ等で加工してはならない。

3-2 結合孔のR部の表面粗度と空洞内壁粗度

機械加工後の結合孔付近における表面粗度は、高周波放電の大きな原因となる。従って、結合孔の表面粗度は出来るだけ小さくし、加工方法やバイトの選択にも充分注意を払う必要がある。結合孔表面粗度は3 μ m以下(目標 1 μ m)

又、結合孔のRも板厚を可能な限り厚くして、出来るだけ大きくなめらかに取る必要がある。空洞内壁はQ値との関係もあり、表面粗度は1 μ m以下に仕上げる必要がある。

3-3 使用材料

材料もガス放出の少ない良質な材料を使用する必要がある。

空洞部及び導波管は

日立電線(株) OFHC材を使用
 導波管フランジは JIS規格 SUS 304材を使用
 冷却水パイプ及び継手は
 JIS規格 SUS 304材を使用

3-4 固定架台

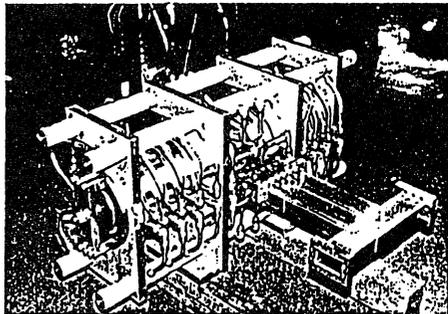
2個の共振空洞、導波管部をいかなる姿勢でも充分固定できる構造及び強度を有する必要がある

ある。又、共振空洞の熱膨張に対しても、固定方法を考慮する必要がある。

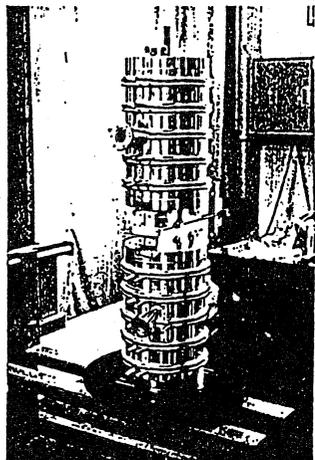
3-5 以上を考慮しながら、2孔結合型SLEDを製作した。

共振空洞は超精密旋盤のストロークの関係があるため4分割とし、通常のNC旋盤で荒加工後超精密旋盤で鏡面加工に仕上げ、洗浄後ロー材は銀ローを使用した真空ロー付炉で接合した。

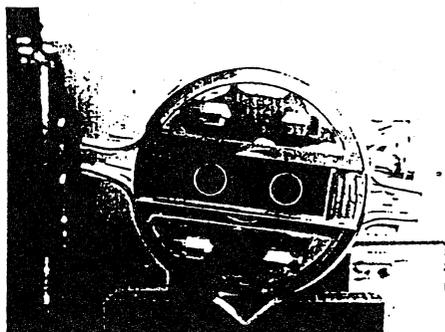
全体写真



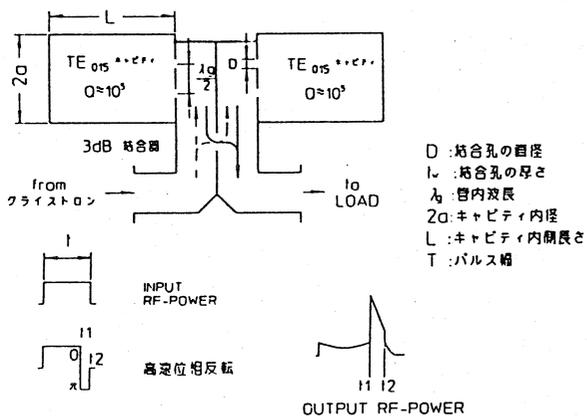
共振空洞 2 個接合



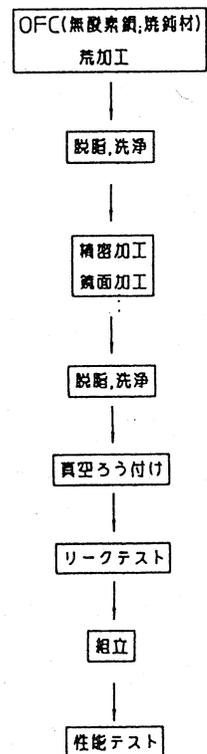
結合孔



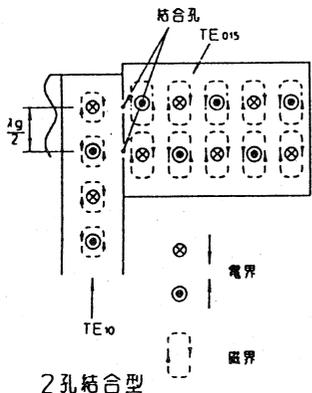
原理図



SバンドSLED 製造工程



TE₀₁₅モード



特性試験結果

電力試験データ

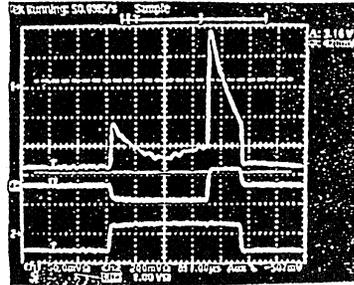
低損失空洞部

	無負荷Q値 目標100000以上	結合度β 目標4.8
CAV#1	100519	5.07
CAV#2	100966	4.94

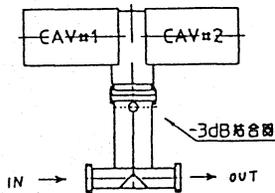
-3dB方向性結合器

周波数 (MHz)	結合度 目標 $-3.0 \pm 0.05\text{dB}$	方向性 目標 40dB以上	VSWR 目標 1.1以下
2856MHz	3.03dB	47.3dB	1.05

文部省高エネルギー物理学研究所 (KEK) 殿の御協力を得て、KEKで電力試験を行なった結果は次の通りです。

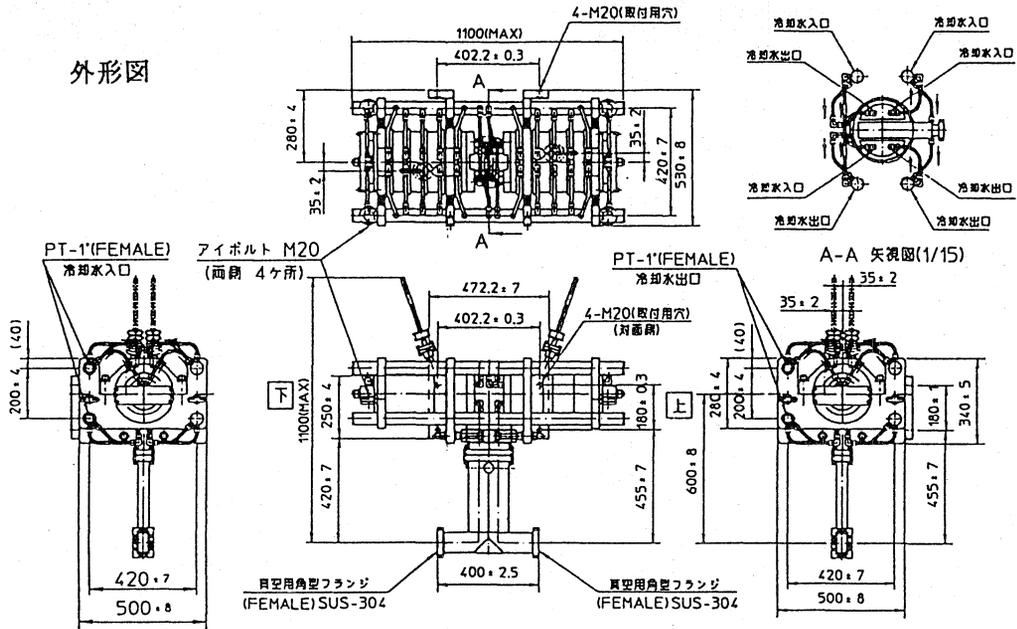


(UP)
OUTPUT POWER
380kV peak, 1μs
(middle)
KLYSTRON PHASE
0 to π
(low)
KLYSTRON OUTPUT POWER
80kV, 4.5μs, 25pps



電力試験の合計時間は500時間に及び、その間放電、放射X線による問題は、起きていません。

外形図



S-1/15
SバンドSLED 外形図

参考文献

- [1] Z.D.Farkas et al., "SLED: A Method of Doubling SLAC's Energy", Proc. 9th Int. Conf. on High Energy Accelerators, p576, SLAC, 1974
- [2] H. Matsumoto, H. Baba et al., "High power test of a SLED system with dual side-wall coupling irises for linear colliders", NIM A330, 1993, 1-11
- [3] H. Matsumoto, H. Baba et al., "High power test of a SLED system with dual side-wall coupling irises for linear colliders", Proc. of Particle Accelerator Conference, Washington DC, 1993