

PROPERTIES OF SiC CERAMICS AND
APPLICATION FOR MICROWAVE ABSORBER

M. Watanabe, A. Okuno and H. Matsumoto*
NGK Spark Plug Co., Ltd.

* National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

The various ceramic materials were investigated as a potential microwave absorber of the 2.5 GeV electron linac. It was found that SiC ceramics has excellent properties as an absorber. This paper reports the properties of SiC ceramics and an absorbing performance.

1. まえがき

放射光実験施設の2.5 GeV電子線型加速器の電波吸収体として炭化珪素セラミックスを検討した結果、マイクロ波吸収特性にすぐれていることがわかり昨年導波管及び加速管部分に用いる吸収体として設置し、現在まで良好に稼働している。そこで本報告では、炭化珪素セラミックの特徴について概要を説明すると共にマイクロ波吸収体としての性能及び測定結果を報告する。

2. 炭化珪素セラミックの特徴

省エネルギー対策の一環としてガスタービンなどの熱機関のエネルギー効率の向上が重要課題となっているが、その問題解決は主に稼働温度の上昇によって行なわれると考えられており、従って1000℃以上の高温に耐える材料が必要とされている。ところが従来の耐熱合金ではその適用領域を越えているため、代替としての超高温材料(セラミック)の研究開発が活発に行なわれている。なかでも最近炭化珪素(SiC)や窒化珪素(Si₃N₄)などの非酸化物セラミックスは、その新しい焼結方法や製造技術が開発されるに従って下記のような多くの特徴を持つことが明らかとなり耐食・耐摩耗材料や高温構造材料としての期待が高まっている。

- ・ 高温強度が大きく、高温時の強度劣化が小さい。
- ・ 熱伝導性が良く熱膨張が小さいので熱衝撃に強い。
- ・ 硬度が非常に高く、耐摩耗性にすぐれている。
- ・ 従来の高温材料に比べて軽量である。
- ・ 耐熱性、耐酸化性、耐食性にすぐれている。
- ・ 半導体特性を有し、電波吸収特性にすぐれている。

各種新セラミックス材料の特性表

材料名 異地名	Si ₃ N ₄				SiC		
	EC-111L	EC-111S	EC-1211	EC-131	EC-414	EC-424	EC-433
特性							
密度 (g/cm ³)	2.21	2.70	3.26	3.35	3.15	3.12	3.20
抗熱強度 (R.T.) (kg/mm ²)	14	34	75	100	50	45	65
抗熱強度 (1,200°C) (kg/mm ²)	14	34	40	60	50	45	65
ヤング率 (kg/mm ²) ×10 ⁴	1.0	2.5	3.3	3.3	4.3	4.4	4.5
硬度 (HR 45N)	-	-	87.2	89.2	91.6	93.0	93.2
熱膨張係数 (R.T. ~ 1,200°C)(/°C) ×10 ⁻⁶	3.2	3.2	3.81	3.2	4.4	4.6	4.7
熱伝導率 R.T. (W/cm·sec°C)	0.013	0.044	0.03	0.037	0.155	0.137	0.151
比抵抗 R.T. (Ω cm)	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	10 ⁷	10 ⁸	200
耐熱衝撃温度 (°C)	350	350	480	550	300	280	330
酸化重量 (mg/cm ²) (1,200°C × 24hr)	7.5	0.04	0.22	1.0	0.08	0.20	0.15

* R.T. は室温 (T°C) で15分間保持後水中 (T°C) に投入した後材料の抗熱強度を測定した時の強度劣化をばらばらに限界温度差 (T - T₁) を示す。

3. マイクロ波吸収体への応用

一般に電子線型加速器は、大電力の高周波クライストロンで発生させこれを加速管に供給し、内部にできる電場を利用して電子を光速まで加速する装置であるが、ここで電子を加速するために用いられたエネルギーの余剰分を吸収し熱として系外に放出して装置の安全を保障し、かつ負荷側から何らかの原因で電力が帰ってくる時には、その電力を吸収して高周波発生器(クライストロン)を保護する必要がある。そのために加速管の端部あるいは電力分割器の分岐部に電波吸収体を取りつけ、不必要かつ有害な電波を吸収しなければならぬ。従って通常加速器に用いる電波吸収体としては、およそ次の様な性能が要求される。

- ・マイクロ波吸収率が大きく、吸収率のバラツキが小さいこと。
- ・高真空中($10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa)で使用されるので、使用中の放電防止のための緻密性。
- ・電波吸収によって生じた熱エネルギーにより吸収体先端では 2000°C 近くまで加熱されることも考えられるため、高温まで材料が変化しない耐熱性。
- ・吸収した熱エネルギーを系外に放出するための高熱伝導性。

以下に炭化珪素セラミックスの電波吸収特性についての測定結果を報告する。

1) 各種材料の電波吸収特性

導電体から絶縁体まで各種材料のマイクロ波吸収特性を調査するため、まず各材料について $4 \times 8 \times 24 \text{ mm}$ の試験片を用意し電気抵抗を測定した。ついで各試験片を電子レンジ($f = 2450 \text{ MHz}$)中にセットして約1分間入れ、赤外線カメラで試験片の温度を測定し吸収効率の尺度とした。その結果を入力時間と試験片温度との関係で図1.に示した。

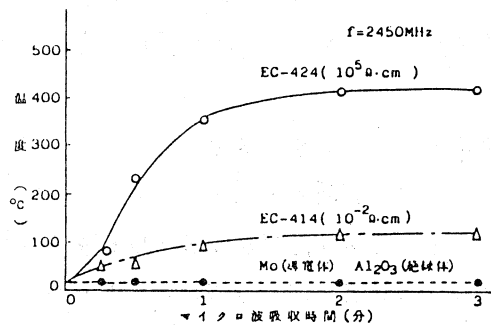


図1. 各種材料のマイクロ波吸収特性

この結果から、Moのような導電体や Al_2O_3 のような絶縁体ではほとんどマイクロ波の吸収特性がなく半導体材料である炭化珪素が良好な吸収特性を示し、しかも高抵抗を有する炭化珪素材料(EC424)が最もすぐれていることがわかった。

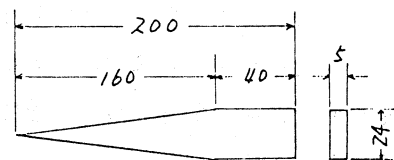


図2. 大電力試験用吸収体形状

2) 大電力試験

ついで実際の運転状態での特性を知るために大電力試験を行った。耐放電性、導波管中の電場分布及び炭化珪素セラミックス(EC424)の電波吸収率(約 0.5 dB/cm^2)などを考慮して図2.に示すような板状の吸収体を2枚用意して図3.に示すような状態に取り付けた。

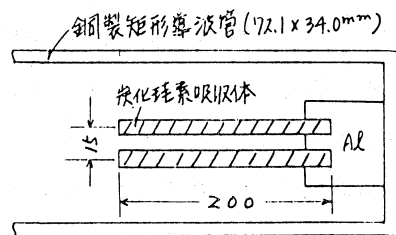


図3. 大電力試験用吸収体取付位置

大電力試験は、 30 MW max ($3 \mu\text{s}$, 50 pps)のクライストロンの出力端に炭化珪素吸収体を接続して真空中

での Power 入力によって行われた。図4に試験回路を示した。電波吸収性能は、定在波測定装置により電圧定在波比(VSWR)を測定することにより調べられた。結果を図5に示した。この結果から供給電力の増大と共に電力反射率が大きくなってはいるものの、供給電力が50Wの時でも90%以上の吸収率を示すことがわかった。

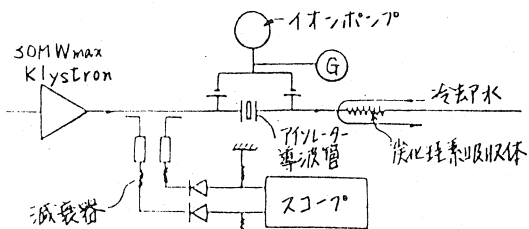


図4. 試験回路

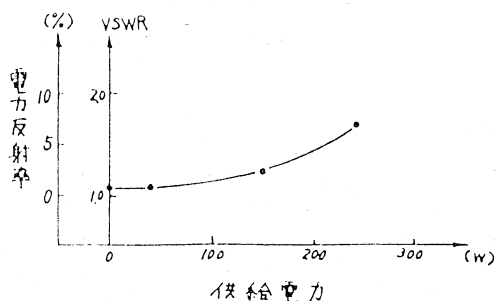


図5. 供給電力とVSWR

3) 実験テストの結果

最後に 2.5 GeV 電子線型加速器の電波吸収体として実験テストを行なった。図6に加速装置の単位ユニットを示した。実際にはこれを41ユニットにして160本の加速管が全長400mにわたり配設されて加速装置を構成している。図中の RF LOADS 部分に吸収体が設置されている。現在 120 W (3 MW × 10 pps × 4 μs) の電力を入力して約2か月経過しているが、外観、電波吸収率共に変化なく安定しており良好に稼働している。

4. 今後の課題

今後更に電子線の Power up のため電力を増強する必要があり、従ってより吸収効率が良くなるように電波吸収体のデザイン、電波吸収システム、冷却方法などについて検討して行く必要があると考えている。

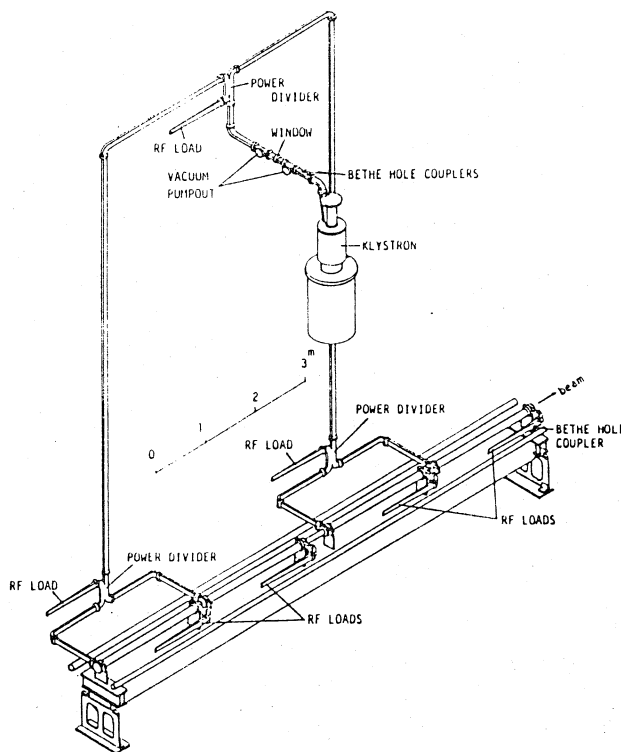


図6. 単位ユニット