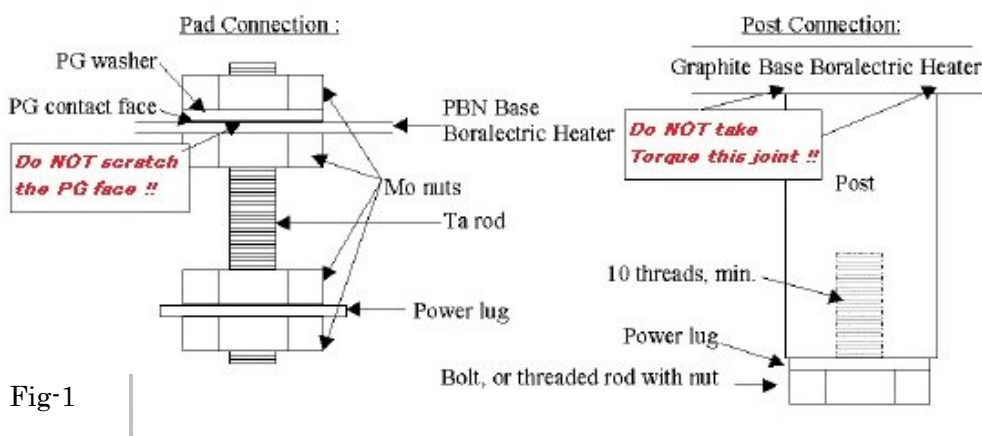


BORALELECTRIC® Heater は高純度の Pyrolytic Boron Nitride (PBN) と、Pyrolytic Graphite (PG) から構成されるヒーターです。高純度 IN-VACUUM HEATER として各種のサンプル加熱に応用可能です。IN-VACUUM HEATER として、1800°C を越えるオペレーティングが可能なこのヒーターは、従来の通電抵抗加熱では得られない高速応答性と出力特性を備えています。不活性ガス、腐食性ガスに耐え、熱的、機械的強度にも優れたこのユニークなヒーターは単位面積当たり 45 watts/sq. cm (300 W/sq. inch) 以上の出力が得られます。

Q1: ターミナル結線方法について教えてください。

A1: Boralectric Heater の端子結線方法について説明します。(Fig-1)

一般的な抵抗加熱ヒーターと比較した場合も、優れた高温特性と高い応答性を示すこのヒーターにとって、端子接続部の構成は重要な部分です。Fig-1 に代表的な端子接続部（コンタクト）構成を示します。



ヒーター本体には PG Pad と呼ぶ給電端子接続面があります。これはヒーター内に展開する発熱体である PG (Pyrolytic Graphite) の露出部であり、外部からの給電端子のコンタクト部となります。別売の Contact Assy に含まれるボルト、ナット、PG ワッシャを用いて結線します。

1/はじめに指で軽く締め込みます。次に 80~90° 程度の増し締めを行います。

80° 以下の締結では電氣的接触に不備を生じ、100° 以上の締結ではコンタクト面を傷つける恐れがあります。

2/PG Pad の PG 露出面は重要な箇所です。素手で触れたり、キズを与えたりしないでください。

PG は凡そ 50 μm の厚さです。PG ワッシャを PG Pad 露出面に接触させます。

注-) 金属ワッシャや他のグラファイト品などで代用しないでください。局所加熱に拠るヒーター損傷の原因となります。

3/Post Connection の場合、Post に締結トルクが掛からない様注意します。例えば、ヒーター一面を固定して締結を行う場合、Post には結線締結トルクが掛かり破損の原因となります。

4/Post Connection の場合、規定する締結トルクと電氣的接触面積を得る為に少なくとも 10 山の有効ネジ深さが必要です。Post の頂点は補強の為 PBN (Pyrolytic Boron Nitride) でラミネートされていますが、ターミナル接触を稼ぐ目的などで剥離しないでください。

5/最後に端子接続を完了したターミナル間での抵抗値を確かめてください。ヒーター単体での抵抗値より 1Ω 以上の抵抗値増加がある場合は結線不良です。

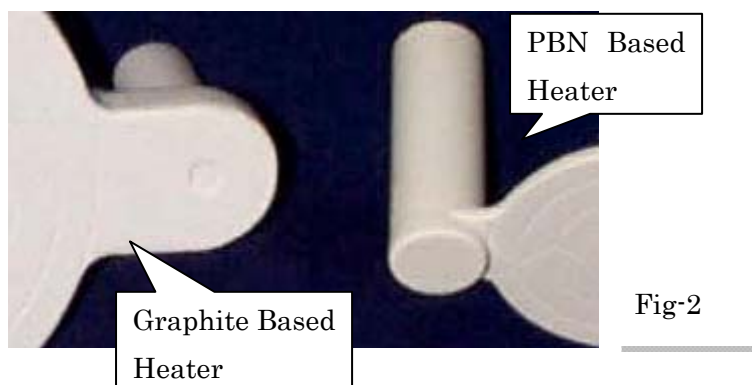
注) Boralelectric Heater は CVD (化学気相成長) プロセスで製造される製品です。従いまして固有の熱均質性を有します。スタンダード面状ヒーターの場合、ヒーター裏面にダミーコートした PG 面は放熱を遮る機能も兼ねますが、ヒーター設置にはシールド (リフレクター) 構造を併用することを推奨します。

Q2: マルチゾーンヒーターは均熱性の改善に有効ですか?

A2: ヒーターの熱損失は主にエッジ部で起こります。改善方法として、ヒーター自体をオーバーサイズで製作する手段が挙げられますが、平面ヒーターに於けるエッジ効果に起因する熱損失は、ヒーターエッジの 10 mm から 20 mm 外側で起こる為、オーバーサイズに製作することで中心付近の均熱性は改善されます。一方、オーバーサイズで製作するヒーターは余分なパワーとコスト、設置スペースを要します。エッジ効果に起因する熱損失を補う方法として、他にヒートゾーンをマルチゾーン (多段) にする手段があります。ヒーターサイズや形状にも拠りますが、最大 4 ゾーンの独立したパターン構成が可能です。また、マルチゾーンヒータリングは直列抵抗として製作することも可能です。ヒーター周辺部の抵抗値と中心部分の抵抗値を故意に違えた構造に拠ってターミナルは通常の数 (2 か所) のみで構成することも可能です。

Q3: ヒーターポストとコンタクトを絶縁した構造はできますか?

A3: この製品は大気圧下で使用される場合もあります。その場合、ターミナルコンタクト部は大気暴露から保護する必要があります。これは真空中であっても化学種の暴露が生じる場合も同じです。ヒーターは高温加熱が可能で、コンタクトの溶断や酸素との反応に拠るコンタクト面 PG の損傷が起こります。これらの解決策としてターミナルポスト構造を用います。ターミナルポストはコンタクト部を発熱面から遠ざけることでコンタクトを保護する手段です。画像左はグラファイト基材のヒーターで、ポスト接合部は内部のヒーター芯です。画像右の PBN 基材のヒーターではヒーター面から約 3 mm 程の接合突出を要します。



Graphite Based Heater Post=φ8.3 x 25, M2 φ9.3 x 35、M3 φ12.3 x 50、M4

PBN Based Heater Post=φ7.5 x 25, M3 φ11.5 x 35、M4 φ19 x 50、M6



アドキャップバキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

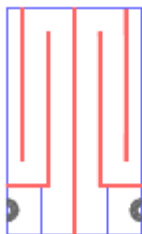
Q4 : ヒーターパターンはどの様にして決めるのですか？

A4: 規格品のヒーターパターンでは Adjacent axial web line (同軸縦線) Cylindrical circles Line (同芯円)、oblique Line (斜行線) などがあります。ヒーターパターンの幾何学的パターンニングアイデアが均熱性を高めるのは事実です。ヒーターパターンを考案する際に重要なファクターは、パターン形状において極端に狭いチャンネル形成を避けることです。隣接するパターン同士が極端に狭いチャンネルを經ている場合、そのヒーターパターンは局所加熱を生じます。良好な均熱面を得る為のヒーターパターンは発熱領域全体に均一なパターンを展開することです。チャンネル部分はできるだけヒーター外周に配置することが重要です。

Q5 : ヒーター抵抗値はどの様にして求めるのですか？

A5: 室温に於ける抵抗値の算出は $R = (0.21) \times (\text{通電パス長}) / (\text{通電パス幅})$ に拠って算出します。通電パスの幅は場所によって異なる場合がありますが最小値を使い、通電パス長さは加熱エリア / (パス幅+パターン間隔)、パターン間隔は通常 0.75 mm です。例えば、スタンダードヒーター (同芯円パターン) 50 mm 径の場合、面積は 1962 mm² ; 幅は $(50/7) - (0.75) = 6.4$ mm ; パス長は $1962 / (6.4 + 0.75) = 274$ mm、抵抗値 (R) = $0.21 \times 274 / 6.4 = 9 (8.99) \Omega$ となります。

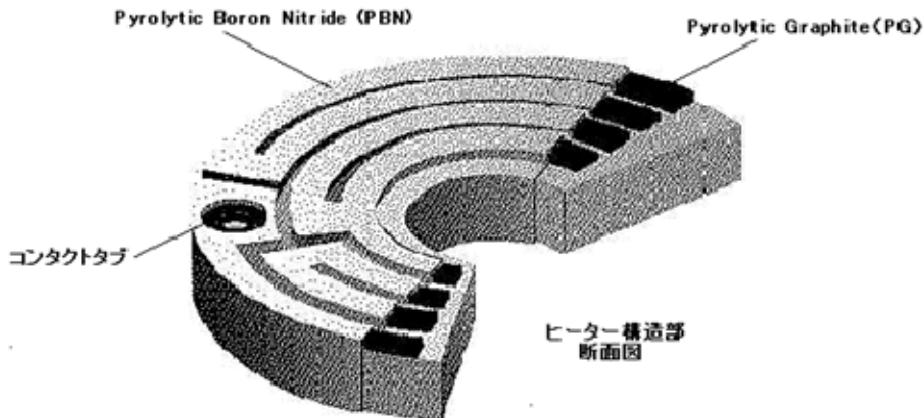
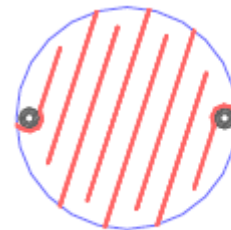
Adjacent axial web line
(同軸縦線)



Cylindrical circles Line
(同芯円)



Oblique Line
(斜行線)

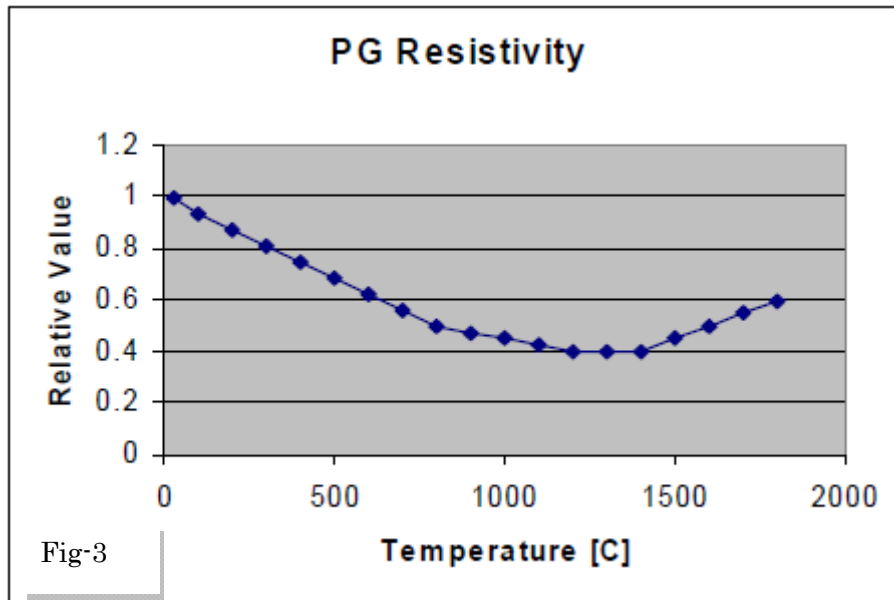


アドキャップバキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

Q6：抵抗値はヒーター温度上昇によって変化しますか？

A6:この製品の最も特徴的な点は発熱構造にあります。即ち、発熱抵抗体がPG(Pyrolytic Graphite)であるという点です。抵抗値はFig-3に示す通り、ヒーター温度上昇に伴い減少します。グラフから1200°Cでは室温時の抵抗値の40%くらいまで低下していることを示しています。この特性はソフトスタートを可能にする一方、温度上昇とともに電源電圧の定電圧安定と高い電流出力を要求します。ヒーター駆動電源はこれらを考慮した選定が重要です。また、温度制御には熱電対フィードバックが必要です。



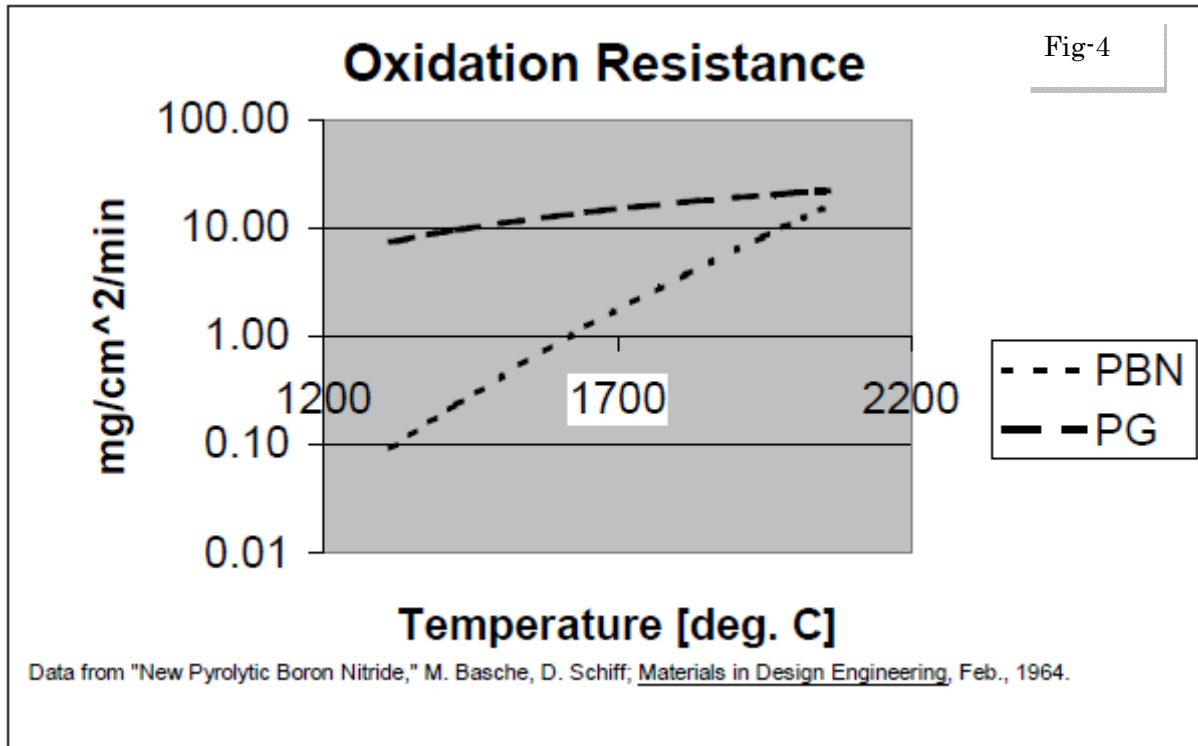
Q7：耐環境性についてはどのような制限がありますか？

A7:酸素 (Oxygen)：酸素雰囲気中での加熱にはコンタクト面 PG の保護が必要です。
ヒーターポスト (Q3 参照) は PG 露出部を発熱面から遠避けることで、PG の酸化閾値温度以下に保つことが期待できます。または、コンタクト面に Pt (Platinum) を蒸着 (2000~2500 Å) することでも PG の酸素暴露から保護することが可能です。

アンモニア (Ammonia)
ギブス計算 (等温等圧過程の自由エネルギー) によると、カーボンはアンモニア (NH3) と 1250K (975°C) で反応が進行するとされています。また 1500°Cに於いては急激な化学反応が起こるとされています。
ヒーターの運転可能温度域において 975°Cはかなりリスクのある値といえます。アンモニア雰囲気中での使用は 750°C以下に抑える必要があります。

フッ素 (Fluorine) ヒーター表面のラミネート材質である窒化ボロンはフッ素プラズマに曝された場合、反応を起こします。フッ素雰囲気中、またはフッ素プラズマ環境で使用する場合は ALN (窒化アルミ) コーティングがより適します。(詳しくはお問い合わせください)





Q8 : ヒーターの絶縁破壊電圧とターミナル周辺の放電について教えてください？

A8: PBN (Pyrolytic Boron Nitride) でラミネートされたヒーターは 200,000V/mmの絶縁耐圧を有します。通常の使用において電氣的絶縁破壊が心配されることはありません。一方、ターミナル結線とターミナルコンタクトについては注意が必要です。以下のグラフ (Fig-5) はパッシェンの法則による絶縁破壊電圧の式に拠って示されたデータです。(Bazelyan, E. M. and Raizer, Yu. P.)

$$V_{\text{break}} = B * (P * D) / (C + \ln(P * D))$$

P = Pressure (Torr)

D = Gap distance (cm)

C = $\ln(A / \ln(1 + 1/G))$

And, for air:

A = $15 \text{ cm}^{-1}\text{Torr}^{-1}$

B = $365 \text{ Vcm}^{-1}\text{Torr}^{-1}$

G = 0.01 (secondary ionization coefficient)

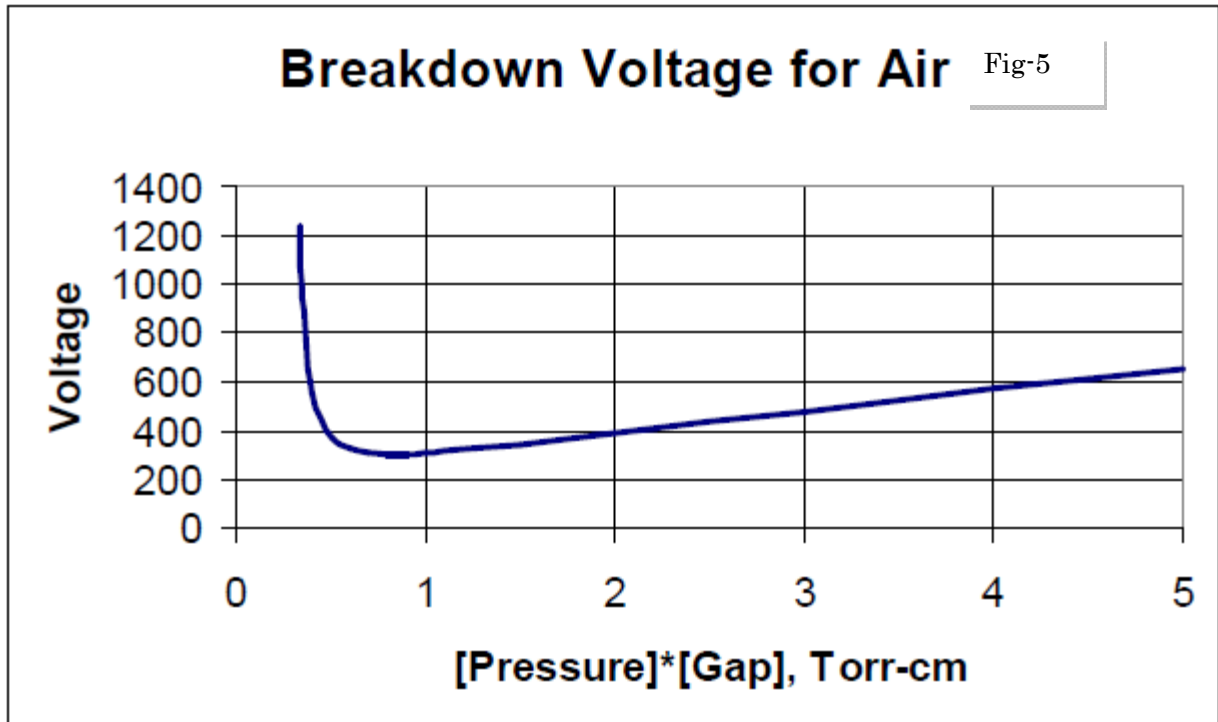
So C = 1.18

例) 300V at P*D of 0.8 Torr-cm. においては、1mm (0.1cm) ギャップ@8Torr で 300V は危ういということを示し、220V 以下が安全域ということになります。高真空下であっても加熱周辺の分圧は周囲より高いということも加味した設計が重要です。



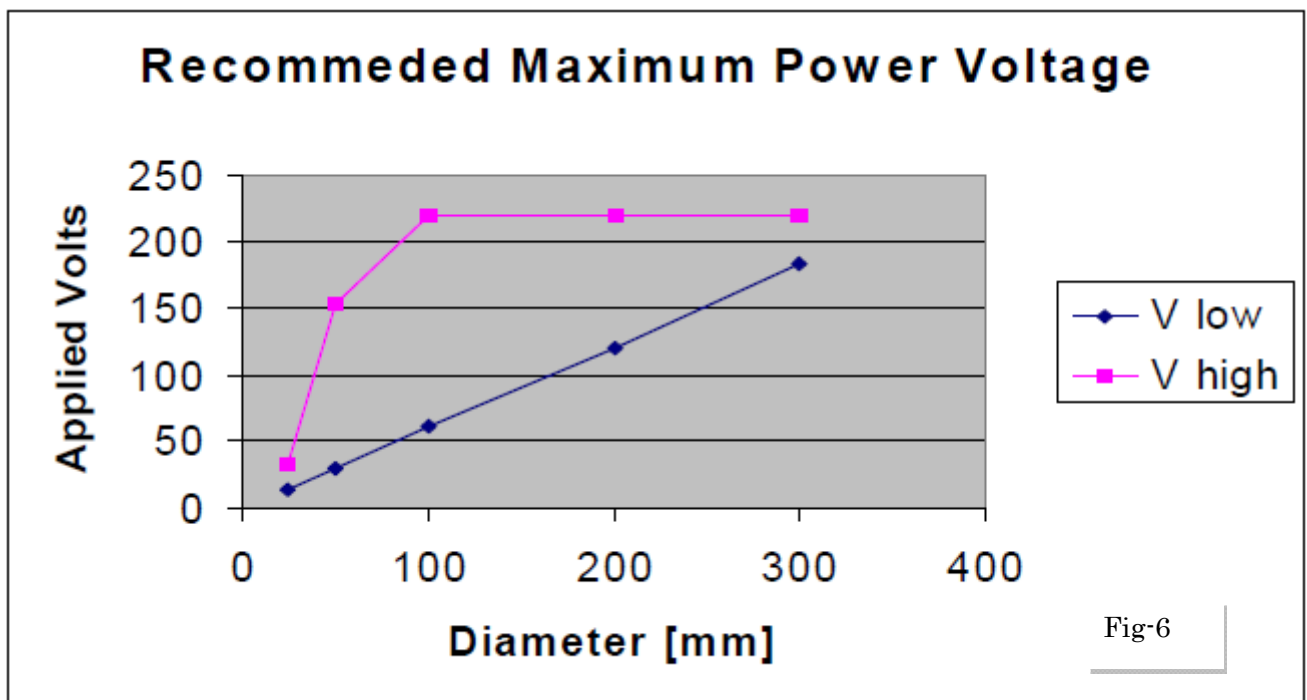
アドキャップパキュウムテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。



Q9 : 推奨される電源について教えてください

A9 : このヒーターは負性抵抗特性を有します。電源は AC/DC 何れの入力でも使用可能です。
本製品に限らず、ヒーターと電源のマッチングは重要な課題です。



アドキャップバキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

ヒーター温度 1000°Cにおける最大出力 50 watts/cm² (Nominal) : 以下は電源出力の参考値として示します。

For a heater of this area			To give max. of 50 w/cm ²	At <u>least</u> this DC voltage is needed		Above this is not needed (but is usually OK)	
Diameter (if Round)		Area	Max. Power	I (high)		I (low)	
[mm]	[in]	[cm ²]	[watts]	V (low)	(+20%)	V (high)	(+20%)
25	1	5	200	14	17	34	7
50	2	20	1000	31	39	153	8
100	4	80	4000	61	78	220	22
200	8	310	15500	121	154	220	85
300	12	710	35500	183	233	220	194

電源の出力電圧が高い場合、ヒーターパターンはより通電パスが長く高い抵抗値にデザイン可能な為、均熱性にも優れた結果が得られます。同じく通電パスが長いヒーターを出力電圧が低い電源で運転した場合も出力は均等に分配されます。V low より低い設定ではヒーター性能は発揮されませんが、同じく V high 以上の設定ではヒーター性能を損ないません。上記の表は公称値ですが、20%程度のマージンを含みます。もしもお手持ちの電源スペックが明確にわかる場合は弊社までご相談ください。

Q10 : 容量の大きすぎる電源ではどのような問題がありますか

A10: 特に大きな問題はありませんが、いくつかの注意点を挙げます。

1. 電源出力に制限を与えます。電圧 (V) x 電流 (A) が ≤ 50Watts/cm²
仮にヒーターが 50V 8A (400W) の設計であれば、100V 出力の電源は 4A 以下の設定で使用可能です。
2. 熱電対フィードバックを受けて電源出力を制御している場合は、熱電対の測温点と実際のヒーター温度の差を見込んだ設定が必要です。
3. 電源出力表示だけを信じて運転することはお勧めできません。熱電対を併用したクローズループでの運転が好ましいです。

Q11 : 三相電源の使用は可能でしょうか？

A11: 事例として 3 ゾーンヒーターでの使用が考えられます。各ゾーンが平衡し、電源位相が電流と電圧の間で生じないというアイデアからのお問い合わせと考えます。その場合電源は十分な容量が必要になると考えます。

$E_L = \text{Voltage (E)}$ $I_L = \text{Current (I)}$ $P = \text{Power (total)}$

$E_Z = \text{Voltage (E)}$ each zone $I_Z = \text{Current (I)}$, each Zone $P_Z = \text{Power (each Zone)}$

Then, for a Y circuit:

$E_Z = E_L / 1.73,$

$I_Z = I_L,$

$P_Z = (E_Z) \times (I_Z) = (E_L) \times (I_L) / 1.73,$

$P = 3 \times P_Z = (E_L) \times (I_L) \times 1.73$



アドキャップパキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

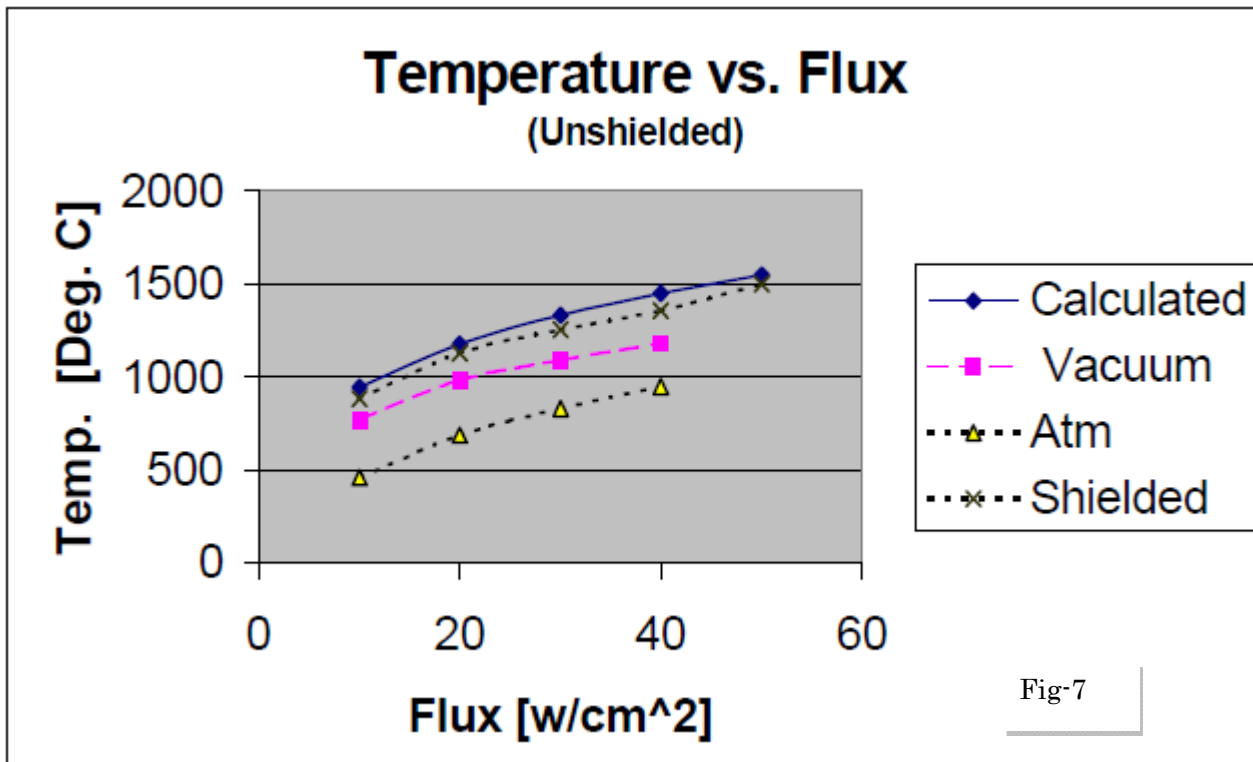
Q12 : 加熱可能な温度はどのくらいでしょうか？

A12: 設置条件にも拠りますが、通常 1500+°Cに達します。シールドの無い真空容器内にヒーターを設置し、真空下と大気圧下の二つの条件でプロットしたデータ (Fig-7) を以下に示します。

凡例 : Atm (大気圧) は N2 置換、凡例 : Calculated はシュテファン・ボルツマンの法則 ($heat\ flux\ Q = \sigma \epsilon (T_{hot}^4 - T_{cold}^4)$) にあてはめた計算値です。

(実際の製品性能データではありません)

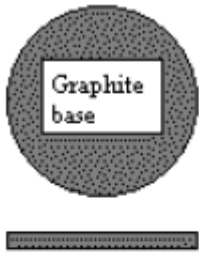
実際のヒーター設置条件では様々な制約があり、ヒーターにとっての理想的な設置条件は得られない場合が多いですが、ヒーターの加熱能力を低減させる要因は理論上より遥かに多く存在します。例えば、ヒーターに結線されたターミナルや配線を通じての流熱、或いはヒーター一面に載せられた試料面などもあります。



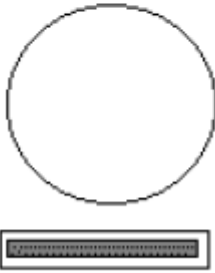
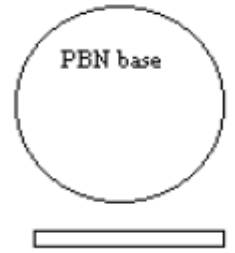
アドキャップバキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

Q13 : Boralelectric Heater の構造について教えてください？



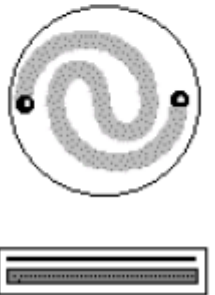
はじめにサイズを決定します。基板サイズが 100 mm を超える場合、
基材はグラファイトを使用し機械加工で成形します。
この場合基材の厚さは通常 5~8 mm 程度です。100 mm 以下のサイズ
では PBN 基材を使用します。この場合基材の厚さは 1 mm です。



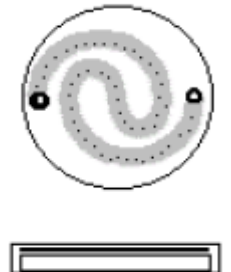
次に、グラファイト基材の場合は CVD プロセスで PBN (Pyrolytic Boron
N) をコーティングします。厚さは 0.5 mm 程度まで成長させます。
PBN 基材ではこのプロセスは不要です。



次に PBN 基板表面に同じく CVD プロセスで
PG (Pyrolytic Graphite) 層を形成します。
その後、発熱パターンに沿った機械加工を行います。



最後に PBN をオーバーコートして表面の絶縁層を形成します。
この時、コンタクト面 PG はマスクングされた状態です。
ポスト部品は別形成で取り付けます。



アドキャップパキュームテクノロジー(株)

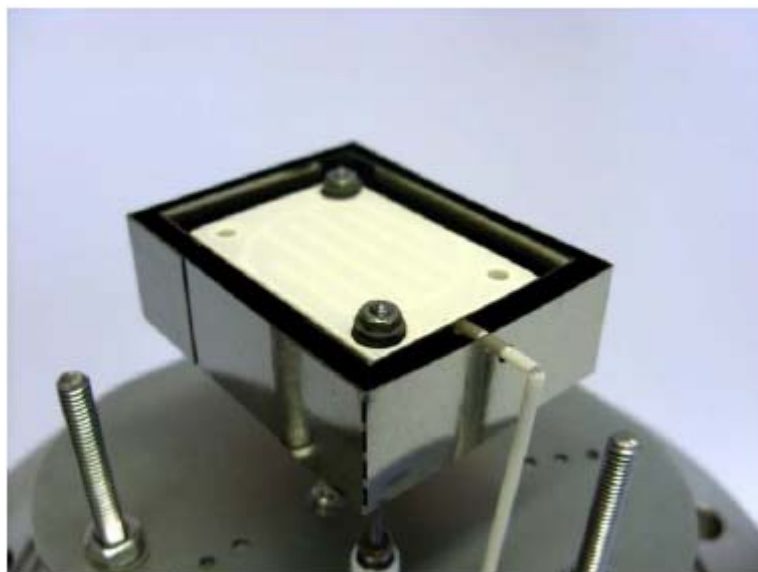
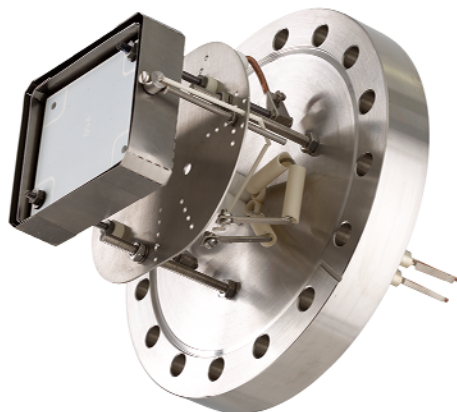
●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。

Q14 : Boralelectric Heater は UHV (Ultra High Vacuum) で使用可能ですか？

A14 : 超高真空環境下で使用するヒーターとして重要な点は脱ガス特性に拠っていると考えます。

BORALELECTRIC® Heater は高純度の Pyrolytic Boron Nitride (PBN) と、 Pyrolytic Graphite (PG) から構成されるヒーターです。真空の系を汚染する脱ガス組成はありません。焼結性の窒化ボロン (BN) とは異なり CVD 法による PBN は緻密な構造で、大気暴露による吸湿の心配や加熱時の脱ガスもなく清浄な真空環境を妨げません。

ヒーターアセンブルの対応も可能です。詳しくは弊社までお問い合わせください。



ADCAP

アドキャップバキュームテクノロジー(株)

●本紙の記載内容、図表等の無断複写、転用、転載を禁止します。