



光伏应用

用于光伏行业的特种石墨

SIGRABOND®

SIGRAFIL®

SIGRAFINE®

SIGRAFLEX®

SIGRATHERM®



石墨材料与系统

20000

SIGRAFINE® 等静压石墨 尺寸非常关键

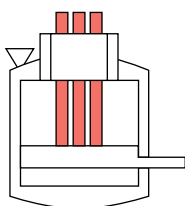
硅基太阳能电池有望成为可持续能源的基石。为了满足日益增长的需求，规模经济显得尤为重要。凭借全球最大的冷等静压机（直径1800毫米，高度2000毫米以上，最大压力2000巴），我们能够压制出多种形状和等级的石墨坯体。

这仅仅是我们整个光伏价值链上的智能解决方案之一，我们的价值链涵盖了从热场到石墨成品的涂层和纯化，以支持世界能源安全。

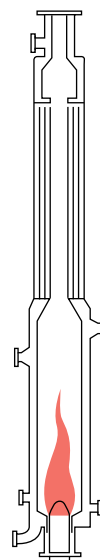
mm

我们的光伏行业特种石墨

光伏价值链中的大多数工艺都在高温和极端腐蚀性的环境中进行。同时，生产太阳能硅材料还需要相关部件具有高纯度和高精度。我们的特种石墨是满足光伏行业严格规范所不可缺少的。



↑ 精炼冶金级硅



↑ HCl 合成

价值链

典型应用

西格里碳素的产品

西格里碳素的材料

升级冶金级硅 (UMG)

- UMG 硅

- 坩埚
- 加热器

- SIGRAFINE® 等静压、挤压和振动成型石墨

三氯硅烷 [TCS] 生产

- 三氯硅烷

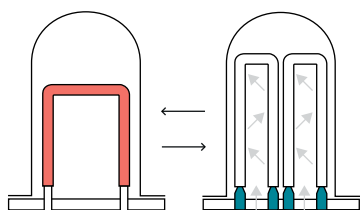
- HCl 合成装置

- SIGRAFINE® 挤压和振动成型石墨

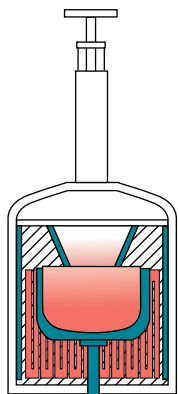


了解更多有关我们的工艺技术：
www.sglcarbon.com

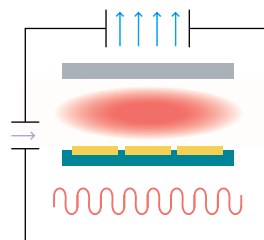
我们提供高效的解决方案, 首先是用于高纯多晶硅沉积的高纯石墨电极。也提供用于直拉单晶硅锭的加热器、坩埚和隔热部件。还有采用最新设计的由等静压石墨或碳纤维增强碳复合材料制成的PECVD硅片载体。



↑ 氢化炉/西门子法还原炉



↑ 单晶硅生长



↑ 等离子体增强化学气相沉积 (PECVD)

多晶硅生产

- 多晶硅

- 加热元件
- 保温筒
- 隔热材料
- 石墨卡瓣

- SIGRAFINE® 等静压和挤压石墨
- SIGRAFINE® 碳化硅涂层
- SIGRATHERM® 碳毡和石墨毡
- SIGRABOND® 碳纤维增强碳和石墨
- SIGRAFLEX® 膨胀柔性石墨箔

单晶硅生长

- 单晶硅

- 加热器
- 坩埚
- 隔热材料
- 保温筒

- SIGRAFINE® 等静压和挤压石墨
- SIGRAFINE® 碳化硅涂层
- SIGRATHERM® 碳毡和石墨毡
- SIGRABOND® 碳纤维增强碳和石墨
- SIGRAFLEX® 膨胀柔性石墨箔

抗反射钝化层沉积

- 氮化硅/氧化硅
- 氧化铝

- 石墨舟
- 单个硅片载体

- SIGRAFINE® 等静压石墨
- SIGRABOND® 碳纤维增强碳和石墨

应用于光伏行业的产品

我们为硅基太阳能电池的整个价值链提供定制的石墨产品：用于多晶硅生产和单晶硅锭生长的电极、加热部件、保温筒和隔热部件。我们还提供个性化的后处理工艺，如纯化、机械加工或涂层。



多晶硅生产的解决方案

工艺保障

流化床/西门子还原炉和STC-TCS 氢化炉中的材料部件需承受高达1000 °C (1800 °F) 的温度和高度腐蚀性环境。我们的特种石墨具有极高的耐热性和耐腐蚀性，帮助提高工艺良率。

解决方案

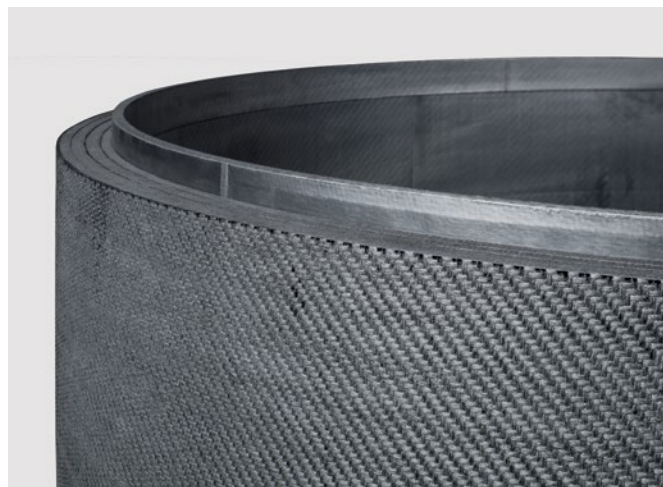
多年来，我们一直致力于为多晶硅生产商提供广泛的工程解决方案，包括用于多晶硅沉积的高纯电极，加热器，用于STC-TCS 氢化炉的气体管道，保温筒和隔热部件。应用的材料有SIGRAFINE 等静压、挤压和振动成型石墨、Sigratherm 石墨硬毡、Sigrabond 碳纤维增强碳和SIGRAFINE 碳化硅涂层。

定制形状、尺寸和表面

我们的专家选择最佳的材料，生产出定制化的产品。例如，通过我们的成型和连接解决方案，我们能提供任何长度和直径的氢化炉隔热部件。为了延长关键部件（如氢化炉中的部件）的使用寿命，我们提供专用的碳化硅 (SiC) 涂层。



↑ 用于西门子还原炉的电极(卡瓣)



↑ 氢化炉隔热用石墨硬毡筒



您可以在我们的网站上找到我们产品的技术数据表：
www.sgicarbon.com

单晶硅提拉生长的解决方案



↑ SIGRAFINE等静压石墨制成的坩埚

热场挑战

单晶硅生长的所有工艺都是在高温和腐蚀性的环境中进行，如CZ直拉太阳能级单晶硅会用到腐蚀性气体硅蒸气。所以工业晶体生长炉的热场通常使用耐高温和耐腐蚀的石墨部件。

用于直拉法单晶硅生长的多种材料

我们生产各种典型部件的材料，包括由高强度均匀细颗粒石墨（SIGRAFINE）或碳纤维增强碳（SIGRABOND）制成的加热器、坩埚、导流筒和保温筒，以及由硬毡或软毡（SIGRATHERM）和柔性石墨箔（SIGRAFLEX）制成的隔热部件。我们具有几十年经验的专家选择纯度最高的最佳材料，以适应各种类型的晶体生长炉。

优化炉子设计

我们的建模和仿真模拟专家可提供晶体生长炉的热机械和气流动力学优化建议。通过对于CZ热场的整体考虑选择最适合的材料和设计定制化解决方案。从而支持我们的客户创新产品，并最大限度地降低综合成本。



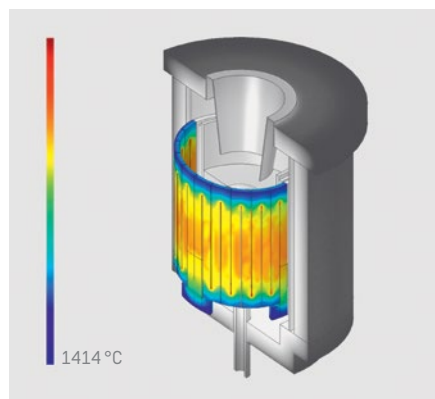
了解更多细颗粒石墨的信息，
请访问
www.sgllcarbon.com



了解更多建模和仿真模拟的信息，
请访问
www.sgllcarbon.com



↑ CZ直拉炉用石墨部件



↑ CZ直拉炉加热器模拟

PECVD 装置中的硅片载体解决方案

精确定位

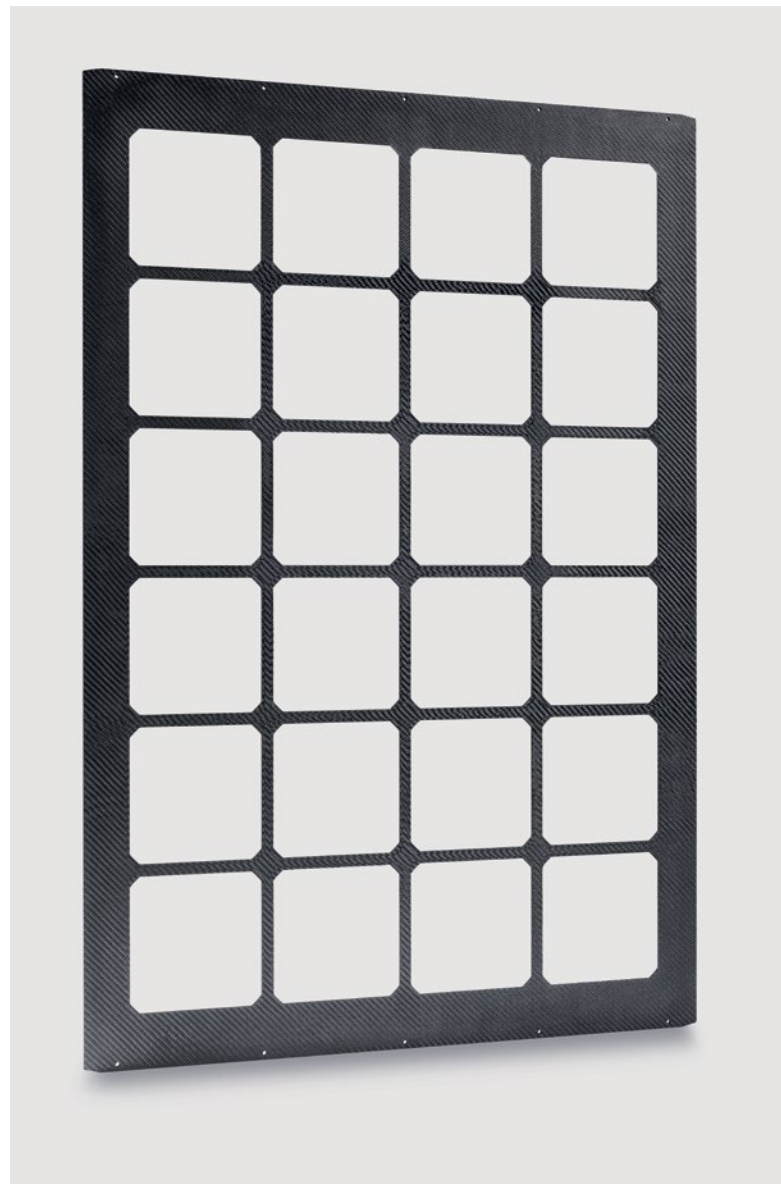
PECVD生长的薄膜的均匀程度对太阳能电池的效率至关重要，如果硅片在PECVD装置中的位置不精确，则效率会受到影响。为了避免这种情况，我们开发了精密载体系统，即由稳定的特种石墨制成的石墨舟，以及碳纤维增强碳制成的硅片载体。

间歇炉（管式）

为了增加单个石墨舟的舟片数和减少抽空次数，石墨材料必须具有高抗折强度和低开口气孔率。此外，材料的各向同性特性对于舟片的均匀热分布很重要。我们的等静压石墨等级SIGRAFINE R6510和R6520能完全满足这些材料性能要求。由这些材料制成的石墨舟可用于高效抗反射层和PERC层沉积。

连续炉（板式）

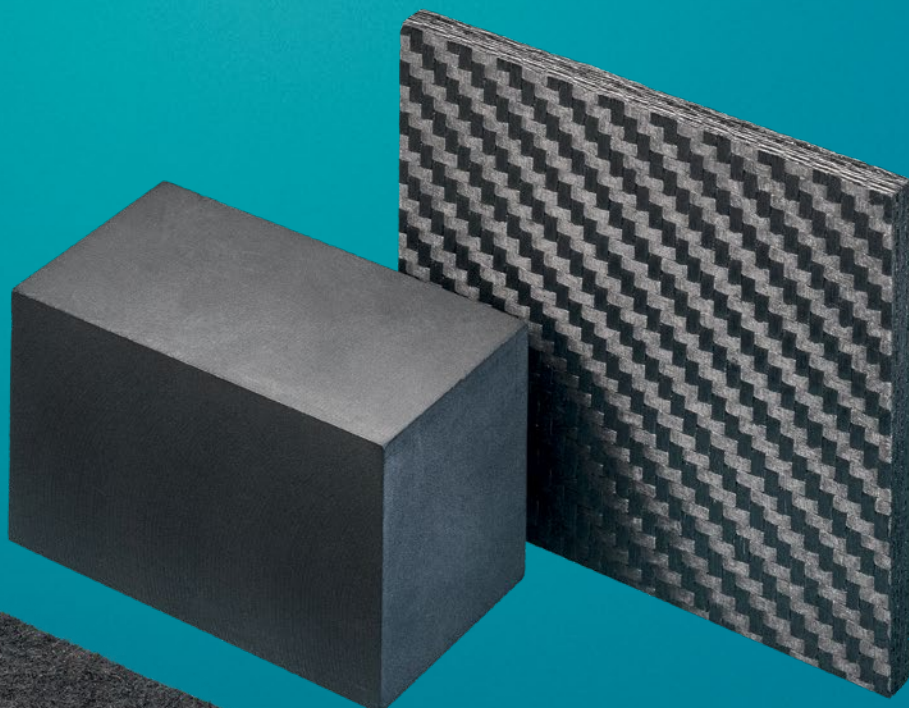
硅片载体的刚性和轻量化是保证等离子体反应器内电极间距稳定的关键材料参数。我们的碳纤维增强碳牌号SIGRABOND标准级具有较高的杨氏模量和较轻的质量，可减少载体的弯曲。同时，它的编织结构使得载体易于加工，并支持在CFRC表面附着沉积层。综合了这些特性的SIGRABOND标准级可用于制作具有复杂几何结构的细长硅片载体，用于PERC和异质结层的双面沉积。



↑ 太阳能硅片的C/C载框

光伏行业用石墨和碳基材料

我们可提供细颗粒石墨、碳化硅涂层、石墨软毡和石墨箔，用于各种光伏应用。我们所有的材料都具有高纯度、出色的机械强度和极好的耐腐蚀性能，并且可以提供各种设计。



SIGRAFINE® 细颗粒石墨

西格里碳素生产多种等静压石墨等级，每个等级都具有其独特的性能，非常适合特定的应用环境。

R6300/CZ3 适合制作加热器。在~1000 °C 以上高温时具有稳定的电阻率，这非常有利于将其用作加热元件。

R6340 和 R6500 是适合多种用途的等静压石墨等级。这两种等级在全世界被应用于制作多种部件，如坩埚、夹具、电极等等。两个等级之间的主要差异在于密度和颗粒尺寸，这也导致其具有不同的热膨胀系数和导热率。

R6510/CZ5 已经成为与Si-O 气态环境直接接触的所用部件的行业标准。由R6510 制成的用于硅CZ直拉单晶炉石墨保温筒和导流筒，已被证明具有较长的使用寿命和较低的杂质含量，可以得到较高的晶体质量。

我们新开发的R6520/CZ5.2，其性能介于R6500和R6510之间。自推出以来，它已被证明具有卓越的性能表现。

R6650 是一种高密度石墨等级，适用于熔融硅、气态氧化硅等腐蚀性介质中更苛刻的应用。

请联系我们的专家获取更多材料信息或相关技术建议。

等静压 SIGRAFINE® 细颗粒石墨的材料数据

典型性能*	单位	等静压石墨					
		R6300/CZ3	R6340	R6500	R6510/CZ5	R6520/CZ5.2	R6650
平均粒径	µm	20	15	10	10	10	7
体积密度	g/cm ³	1.73	1.72	1.77	1.83	1.81	1.84
电阻率	µΩm	16	12	14	13	13	14
抗折强度	MPa	40	45	50	60	55	65
抗压强度	MPa	85	90	110	130	120	150
热膨胀系数20-200 °C (68-392 °F)	10 ⁻⁶ K ⁻¹	2.7	3.2	4.2	4.2	4.2	4.1
灰分	ppm	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200

* 不同尺寸矩形块和圆形块的典型平均值。单块的实际值可能会因尺寸和形状而不同。任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。

挤压和振动成型 SIGRAFINE® 细颗粒石墨的材料数据

典型性能*	单位	挤压石墨			振动成型石墨	
		HLM	MKUX	MKUN	MKUS	MKUS
平均粒径	mm [in]	0.8 [0.03]	0.8 [0.03]	0.8 [0.03]		0.8 [0.03]
体积密度	g/cm ³	1.72	1.74	1.67		1.79
电阻率	µΩm	7.8/9.5	8.2	10/12		8/9
抗折强度	MPa	19/19	17	10/10		18/17
抗压强度	MPa	40/39	38	25/25		41/39
热膨胀系数20-200 °C (68-392 °F)	10 ⁻⁶ K ⁻¹	3.0/3.5	3.1	2.3/3.2		2.7/3.3
灰分	ppm	≤ 800	≤ 2000	≤ 700		≤ 700

* 不同尺寸矩形块和圆形块的典型平均值。单块的实际值可能会因尺寸和形状而不同。任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。

SIGRAFINE® 碳化硅涂层

高耐腐蚀性和耐热性 - 卓越的导热性

SIGRAFINE碳化硅涂层是一种致密、耐磨损的涂层。具有高耐腐蚀性和耐热性以及卓越的导热性。我们使用化学气相沉积 (CVD) 工艺将碳化硅薄层沉积在石墨表面。

延长石墨和C/C组件的使用寿命

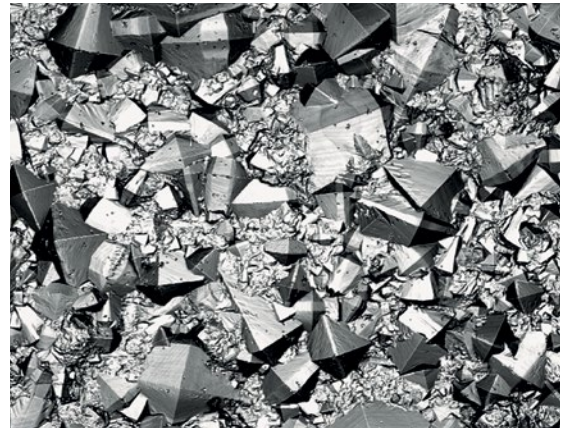
涂层可提高产品质量并提高工艺效率, 从而降低客户的整体运营成本。该涂层延长了石墨部件的使用寿命, 增加了抗氧化性能, 达到生产太阳能级硅晶体所需的高纯度要求。

适用范围广

我们提供由高强度等静压石墨和碳纤维增强碳制成的碳化硅涂层产品。包括用于流化床反应器和STC-TCS氢化炉的部件, 以及CZ热场的导流筒。

SIGRAFINE® 碳化硅涂层的纯度数据 (辉光放电质谱)

元素	ppm	元素	ppm
钠	<0.05	铜	<0.01
镁	<0.01	锌	<0.05
铝	<0.04	镓	<0.05
磷	<0.01	锗	<0.05
硫	<0.04	砷	<0.005
钾	<0.05	铟	<0.01
钙	<0.05	锡	<0.01
钛	<0.005	锑	<0.01
钒	<0.001	钨	<0.01
铬	<0.05	铋	<0.01
锰	<0.005	铅	<0.01
铁	<0.01	铊	<0.01
镍	<0.005		



↑ 碳化硅表面的显微照片

SIGRAFINE® 碳化硅涂层的材料数据

典型性能*	单位	值	分析技术
结构		β (立方) 3C多型体	XRD
排列方向	分数 [%]	首选 111	XRD
体积密度	g/cm ³	3.2	XRD
化学计量比		1:1 Si/C	XPS
硬度	GPa	40	纳米压痕技术
断裂韧性	MPa m ^{1/2}	3.0	维氏硬度计
热膨胀系数 100 - 600 °C [212 - 1112 °F]	10 ⁻⁶ K ⁻¹	4.3	膨胀计
弹性模量	GPa	435	纳米压痕技术
典型膜厚	μm	100	β 反向散射测厚计
表面粗糙度	μm	2.5	轮廓测定仪

* 任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。

SIGRAFLEX® 柔性石墨箔

热场解决方案

SIGRAFLEX 石墨箔由天然膨胀石墨制成，在光伏应用上可提高系统和工艺的性能，最大限度地降低能耗并保证可靠性。

SIGRAFLEX 高纯柔性石墨箔不含粘合剂，可做到超高纯度，防止产品受到污染。

高达 3000 °C

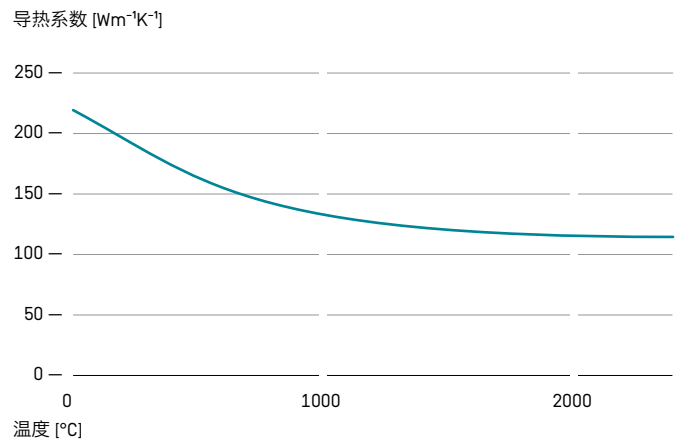
SIGRAFLEX 柔性石墨箔因其非凡的性能，可用于高达 3000 °C 超高温的惰性气体氛围或真空环境。卓越的导热性和导电性使其适用于半导体生产设备中的保温筒、隔热材料、柔性层、密封材料等各种零部件。可根据客户要求定制柔性石墨箔。

SIGRAFLEX 经纯化后可用于超高纯度要求的应用，而且在 SIGRAFLEX 产品的生产中可以考虑客户的特殊要求。

系统供应商

SIGRAFLEX 通常与 SIGRATHERM 硬毡、SIGRABOND 碳纤维增强碳和 SIGRAFINE 石墨结合使用。

超高温下出色的导热性



体积密度为 1.0 g/cm³ 的 SIGRAFLEX® TH 的材料数据

典型性能*	单位	值	
升华温度	°C	> 3000	
耐热性	空气中	约 400	
	惰性气体和真空中	约 3000	
电阻率 [20 °C]	平行于表面	11	
	垂直于表面	700	
导热率 [20 °C]	平行于表面	220	
	垂直于表面	5	
比热 [20 °C]	kJkg ⁻¹ K ⁻¹	0.7	
热膨胀系数 [20 - 1000 °C]	平行于表面	约 1	
	垂直于表面	约 50	
肖氏硬度 [D]		30	
断裂拉伸率	%	≥ 1	
抗拉强度	N/mm ²	≥ 4	
透气系数	垂直于表面	cm ² /s	2 × 10 ⁻⁵
放射系数 [1500 °C]		0.65	
灰分	%	约 0.1	

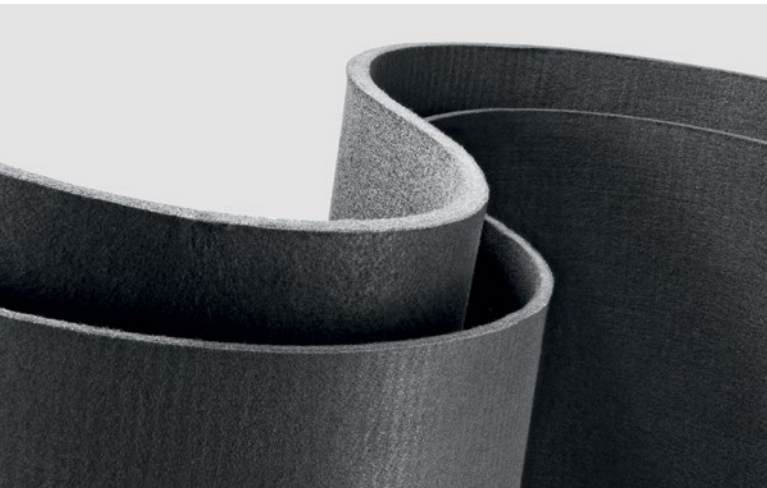
其他值或尺寸根据要求提供

* 任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。



↑ SIGRAFLEX 高纯石墨箔

SIGRATHERM® 石墨软毡



↑ SIGRATHERM 软毡

热场保温材料的首选

我们的石墨软毡综合了热、化学和纺织的独特性能。我们提供高纯度和客户定制尺寸的SIGRATHERM软毡，以及方便搬运的预组装保温组件。

始终如一的低导热率

我们的特殊制造工艺使得SIGRATHERM石墨软毡具有非常低的导热率。整卷软毡都具有极其均匀的厚度和密度分布，确保始终如一的高保温效果。

SIGRATHERM® GFA的材料数据

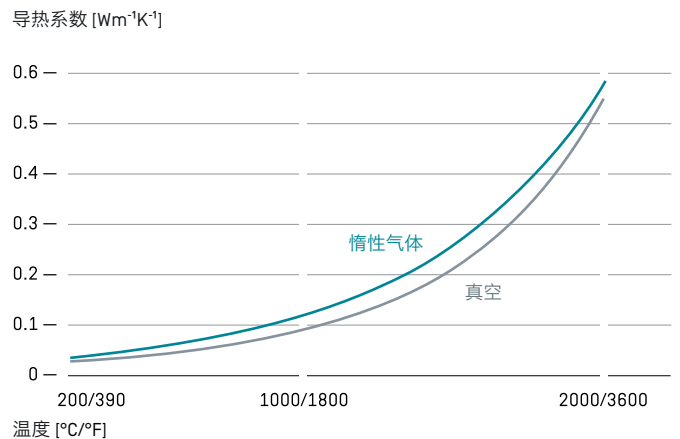
典型性能*	单位	GFA 5/10/15
厚度	mm [in]	6 [1/4] / 11.5 [1/2] / 16 [5/8]
单位重量	g/m ²	500 / 1000 / 1500
宽度 (最大)	mm [in]	1350 [53]
长度	m [ft]	25 - 30 [82 - 98]
灰分	ppm	1000
灰分(纯化)	ppm	< 20
最高应用温度	°C [°F]	2000 [3600] 真空/惰性气体

* 任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。



↑ SIGRATHERM 隔热用柔性碳毡

在室温与硅熔点 (1414°C) 温度区间非常低的导热系数 (惰性气体/真空环境)



SIGRAFIL® D2-3k Yarn 碳绳的材料数据

典型性能*	单位	值
直径	mm	2.0
灰分	%	< 0.5
质量/米	g	1.8

* 任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。

SIGRABOND® 碳纤维增强碳 (C/C)

适用于轻质、坚固和耐用的结构件

SIGRABOND 碳纤维增强碳材料具有非常高的机械承载能力，而自身重量很轻；同时也具有极强的耐腐蚀性和非常高的热稳定性。

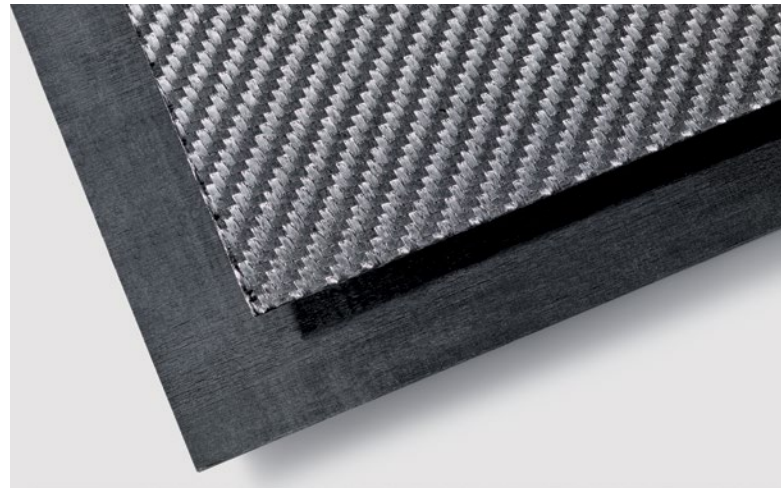
适用于不同应用的 C/C 等级

我们生产三种等级的 C/C 板材：SIGRABOND 标准型，优质型和性能型。SIGRABOND 标准型板可用来制作 PECVD 硅片载体，以保证硅片在沉积反应器中的稳定精确定位。

有效的保护

我们还利用材料牌号 SIGRABOND FilWound 生产旋转对称部件，如坩埚和圆筒。我们的圆筒可以用作 CZ 热场的保温筒。薄壁的 C/C 圆筒也可用于包裹 SIGRATHERM 保温材料，以防止其受到高腐蚀气体 Si-O 的侵蚀。

我们所有的 SIGRABOND C/C 部件均可进行气体纯化，以满足光伏行业的纯度要求。



↑ SIGRABOND 性能型和 SIGRABOND 标准型

SIGRABOND® 碳纤维增强碳的材料数据

典型性能*	单位	板		旋转对称部件
		性能型	标准型	FilWound
体积密度	g/cm ³	1.5	1.5	1.4
抗折强度	MPa	300	150	
弹性模量	GPa	80	60	
层间剪切强度	%	8	8	取决于铺叠成型的结构
灰分	ppm	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000
灰分 (纯化)	ppm	≤ 10	≤ 10	≤ 10
长/宽	mm	1220 x 1220 / 2450 x 1220	1220 x 1220 / 2450 x 1220	-
长/宽	in	48 x 48 / 96 x 48	48 x 48 / 96 x 48	-
直径 _{最大} /长度 _{最大}	mm [in]	可按要求提供特殊尺寸	可按要求提供特殊尺寸	2000/2500 [79/98]
厚度	mm [in]	1.8 - 15 [0.07 - 0.6]	1.7 - 30 [0.03 - 1.2]	-
最大壁厚	mm [in]	-	-	100 [4]
最高使用温度	°C [°F]	2000 [3600] 真空/惰性气体		

* 任何工程和设计需求请随时联系我们的技术销售团队。

一起成功

在西格里碳素，我们可以做的不仅仅是提供石墨块或按图生产零部件。我们与内部的应用和技术部门及客户合作，制定具有真正价值的切实解决方案。

紧密合作以及对客户流程的深入了解是帮助我们开发前瞻性解决方案的关键。

这促成了我们的大部分创新——例如我们的新等静压石墨等级R6520。





提升硅晶体生长的性能表现

CZ直拉法晶体生长是大规模生产单晶硅锭以生产硅片的一项精密技术。硅锭的稳定高质量和高成品率对太阳能电池硅片业务取得成功至关重要。

我们与内部的应用和技术团队一起，与客户紧密合作，确定CZ单晶直拉炉热场部件的理想材料等级，以便进行高质量大批量生产。

我们开发了新等静压石墨等级SIGRAFINE R6520，由该等级制成的热场部件，极大地提高了半导体和光伏行业客户的优质晶圆生产成品率。这充分体现了我们的工作理念：“一起成功”。

智能解决方案

无论是材料, 部件还是生产工艺, 我们都把想法和行动聚焦于客户, 着眼于全局。我们的解决方案将以未来为导向。

以下为我们特有产品系列的应用实例。

交通

- 采用纤维增强复合材料的轻量化部件和结构件, 用于汽车和航空航天制造业。
- 用于电动汽车锂电池的石墨阳极材料
- 用于跑车和豪华轿车的碳陶瓷刹车盘

能源

- 基于特种石墨和纤维材料的光伏产业耐高温解决方案
- 用于转子叶片的碳纤维材料
- 燃料电池用气体扩散层
- 更高效的热交换和热回收系统
- 用于带压气体容器的碳纤维

数字化

- 用于多晶硅行业和半导体工业中拉单晶的碳, 石墨和碳纤维复合材料部件
- 应用于 LED 生产的高精度涂层石墨载盘



→ 全球最大, 最先进的等静压机

SGL Carbon

我们是开发和制造碳素, 石墨, 碳纤维和纤维增强复合材料产品的领军企业。通过与客户合作, 我们开发出了智能, 引领技术前沿的可持续性解决方案, 并获得了明显的效益。

凭借对材料的深入研究, 在工程和应用方面的知识, 我们对涉及交通, 能源和数字化等未来主要课题作出了重要贡献。



联系方式

欧洲/中东/非洲

SGL CARBON GmbH
Drachenburgstrasse 1
53170 Bonn/Germany
gms-europe@sglcarbon.com

美洲

SGL CARBON LLC
900 Theresia Street
PA 15857 St. Marys/USA
gms-america@sglcarbon.com

亚洲/太平洋地区

SGL CARBON Far East Ltd.
151 Huan Chen Dong Lu
Shanghai Fengpu Industrial Development Zone
201401 Fengxian/China
gms-asia@sglcarbon.com

© 西格里碳素集团的注册商标

本文所述内容系西格里碳素集团最新产品信息，旨在对我们的产品及其应用范围作基本介绍。由于产品可应用领域的多样性和广泛性，这些数据仅能作为一般性的介绍信息，不可作为产品在实际特定用途中的适用性和具体性能的保证值。由此，订货时请务必根据应用就具体产品特性及细节与我们联系。我们的技术人员将按照您的要求根据产品具体用途及时为您提供相关的性能参数。

05 2019/1 E 中国印刷



石墨材料与系统
SGL CARBON GmbH
Soehnleinstrasse 8
65201 Wiesbaden/Germany
www.sglcarbon.com/gms