



Solutions
for dry
synthesis and
deposition of
nanoparticles and
nano materials for
R&D, Academy and
Research Institutes

NANOMATERIALS SYNTHESIS AND DEPOSITION

R&D SOLUTIONS



INTRODUCTION

| | | |
|-----------|-------------------------------|----|
| 01 | はじめに | 6 |
| 02 | スパークアブレーション テクノロジー | 14 |
| 03 | VSP-G1 ナノ粒子ジェネレーター | 20 |
| 04 | VSP-A1 拡散捕集用アクセサリ | 34 |
| | VSP-A2 ろ過捕集用アクセサリ | 40 |
| | VSP-A3 慣性衝突捕集用アクセサリ | 44 |
| 05 | VSP-P1 ナノ粒子プリンター | 48 |
| 06 | VSP電極 | 62 |



はじめに

01



材料開発者を 強力にサポート

VSPARTICLEは、40年以上の基礎技術開発を経て、2014年にデルフト工科大学からのスピンオフ企業として設立されました。以来、私たちは、ナノテクノロジーに基づく分野を急速に進歩させるためのツールを、学术界や産業界の研究者に提供し、新しい材料や製品の発見を加速することを目標にしています。

エアロゾルの合成における20年以上の経験を誇り、若く情熱的な科学者とエンジニアチームの協力を得て、VSPARTICLEの技術はナノスケールでまったく新しい可能性の世界を切り開きつつあります。私たち全員がこれからの可能性を理解し始めると、研究者は生産プロセスを再構築し、革新的なアプリケーションを推進する新しい材料を開発できるようになります。

VSPARTICLEは、ナノ粒子の生成は複雑でも時間のかかるものであってはならないと考えています。これがナノ粒子プリンターVSP-P1を開発した理由です。当社の技術により、高度なナノ粒子サンプルの作成時間が数時間に短縮され、研究者は新しい材料の開発プロセスを加速し、材料の特性をすぐに調査できるようになります。VSPARTICLEのテクノロジーは、共同創設者が発明したスパークアブレーション技術を基盤としており、当社はこの技術の世界的リーダーとなっています。スパークアブレーションシステムはすでに世界中の研究室で使用されています。デルフトに本社を置き、アメリカ、ヨーロッパ、アジアに代理店ネットワークを展開しています。当社の研究ツールは材料のパイオニアに力を与えています。

私たちのビジョン

新しい材料を製造する
革新的なテクノロジーで
効果的なソリューションを
実現すること



ユーザーと 共同研究機関



01

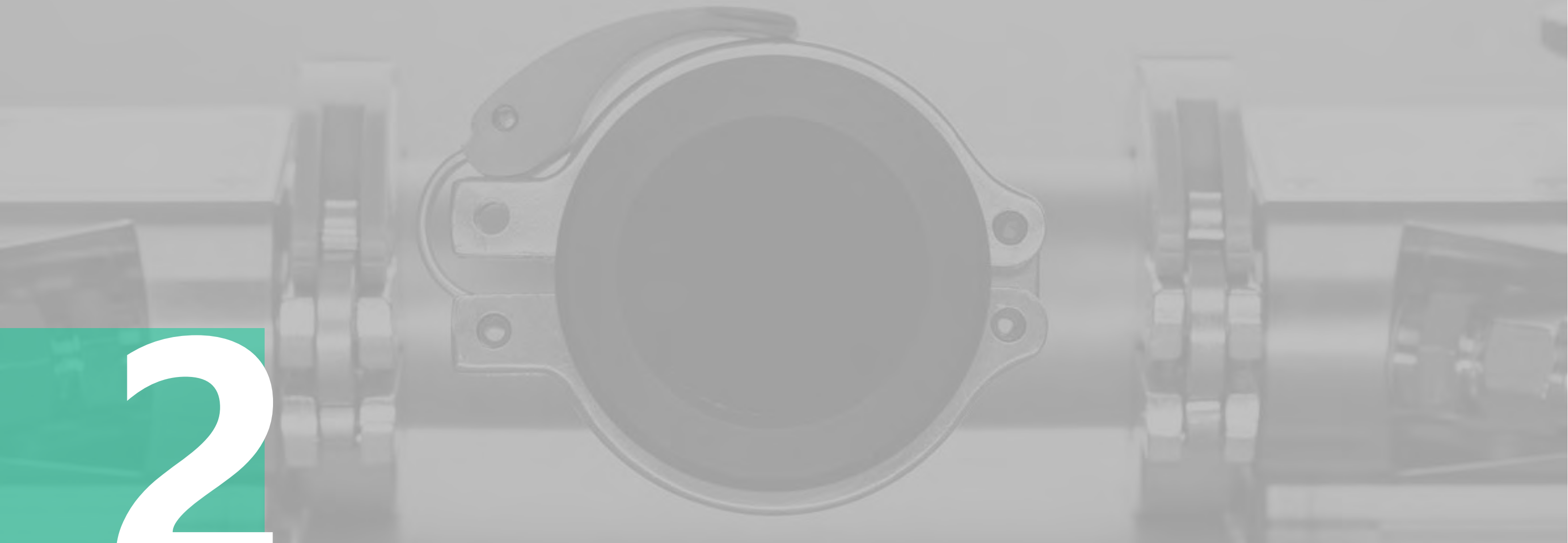
Mission

使命

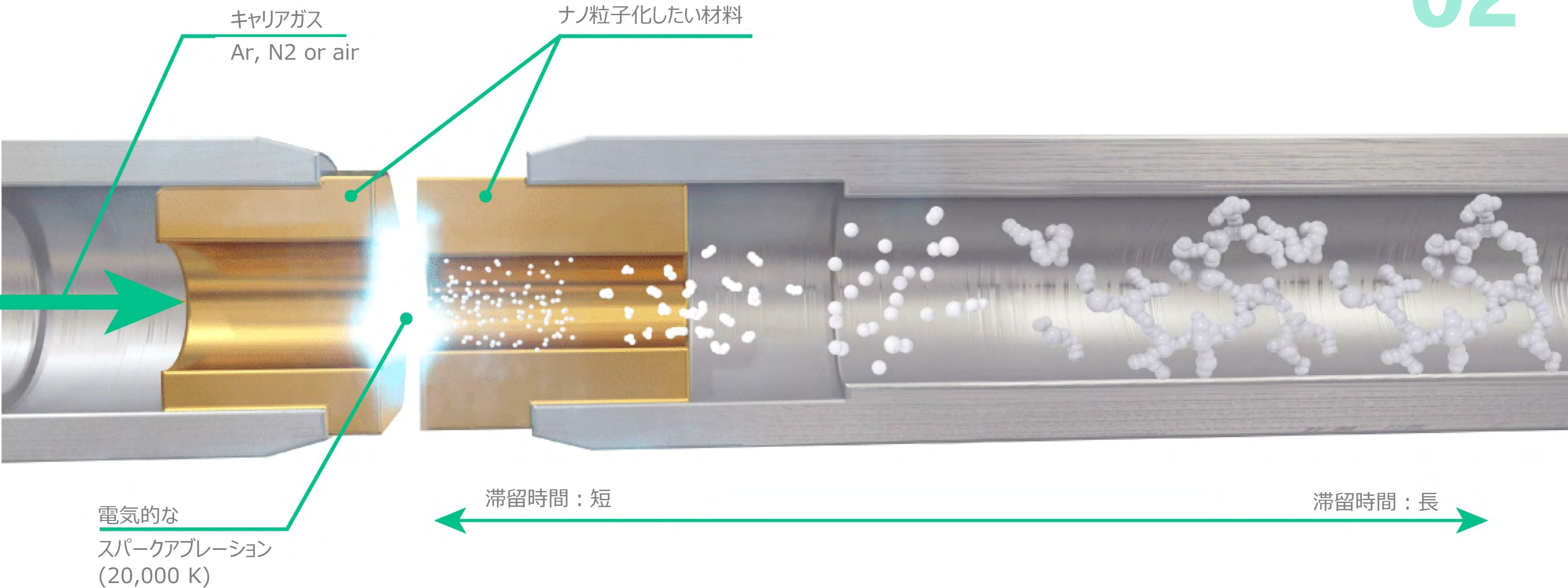
ナノ粒子を簡単に生成・操作・研究できる使いやすいツールを、研究者やイノベーター、産業界に提供することで、ナノテクノロジーの標準化を進めています。ナノテクノロジーをより直感的で幅広く応用できるようにすることで、材料科学やエレクトロニクス、ヘルスケア、エネルギーなどの様々な分野でブレイクスルーを起こしたいと考えています。

SPARK ABLATION

スパークアブレーション



2



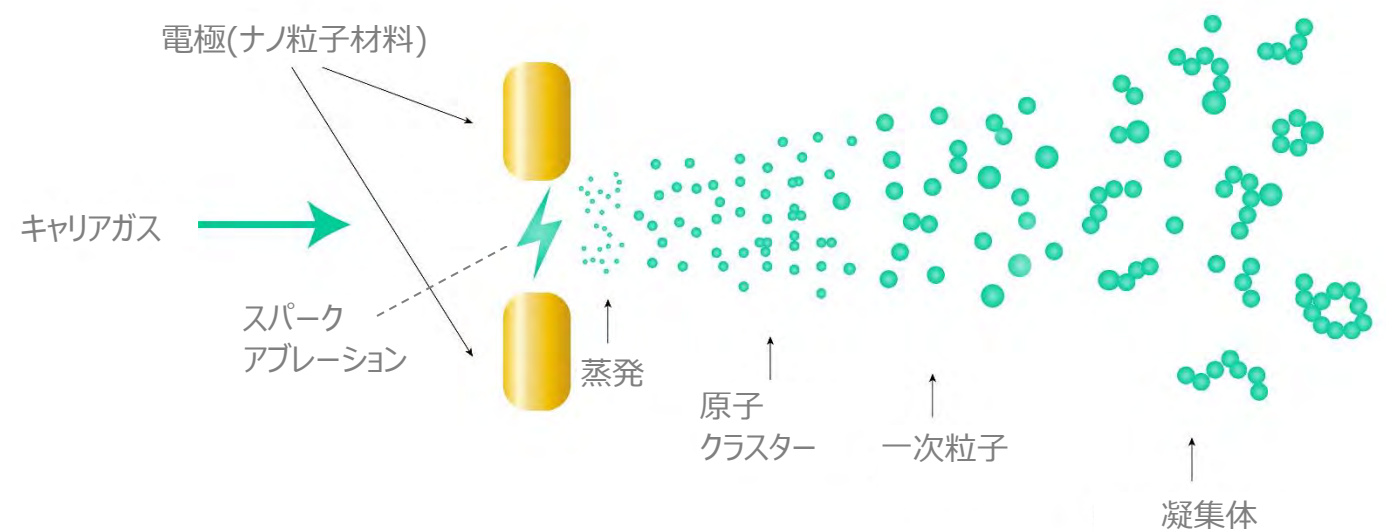
スパークアブレーション(スパーク放電)

スパークアブレーション技術は物理的プロセスであり、化学物質を使用せずに、厳密に制御された環境で純粋な粒子を生成します。当社の共同創設者であるAndreas Schmidt-Ottが1988年にこの技術を発明し、その後、使いやすいデバイスとして開発されました。

VSP-G1ナノ粒子ジェネレーター（以下、VSP-G1）で使用されるスパークアブレーションプロセスは純粋な物理的プロセスであり、電気とキャリアガスおよび電極材料だけを用いてクリーンなナノ粒子を生成します。粒子の生成や安定化に化学物質の添加は必要ありません。

まず、放電が発生すると、電極間に強力なプラズマアークが発生し、電極（固体材料）の局所的な気化およびイオン化が起こります。このプロセスの結果として、対象材料の気化した原子とイオンを含む高エネルギーのプラズマが形成されます。

その後、プラズマ内の気化した原子とイオンは急速な核形成と凝縮の過程を経て、ナノメートルスケールの大きさのナノ粒子を形成します。印加電圧や放電周波数、ガス流量、電極構成などのさまざまなパラメータを調整することで、ナノ粒子のサイズや組成、形態を正確に制御することができます。



スパークアブレーションとナノ粒子成長プロセスの概略説明

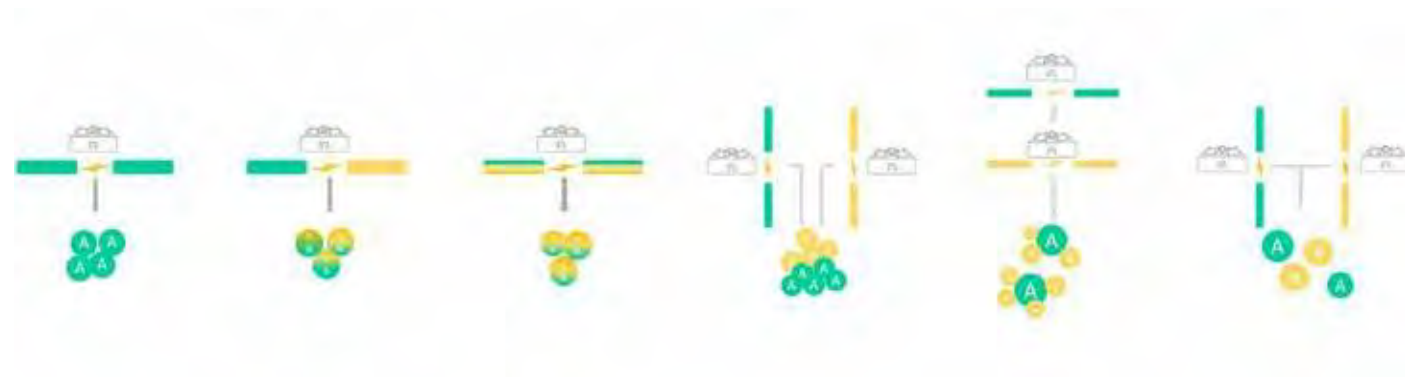
Key benefits



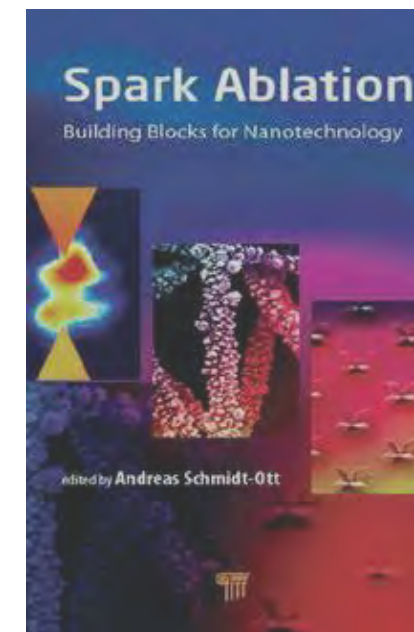
生成されたナノ粒子は、次のプロセスステップに直接組み込んだり、慣性衝突や電気集じん、ろ過などによって製品に付着させることができます。このようにしてできた製品を用いて、ナノ粒子の持つユニークな物理的特性を直接的に利用することが可能です。

生成物は、高濃度の純粋(金属)ナノ粒子が低温(50 °C未満)のクリーンなガス中に浮遊したエアロゾルです。アルゴン(Ar)や窒素(N₂)などの不活性ガスを使用することで、表面に(有機)汚染物質の付着していない純粋な金属ナノ粒子を生成します。

スパークの温度は20,000 K以上と高温のため、処理できる材料に実質的な制限はありません。最も基本的な形として、電極には単体金属が用いられます。スパークアブレーション技術はあらゆる導電性および半導電性材料、それらの合金を電極として使用でき、様々な組み合わせにも対応しています。(下図を参照)



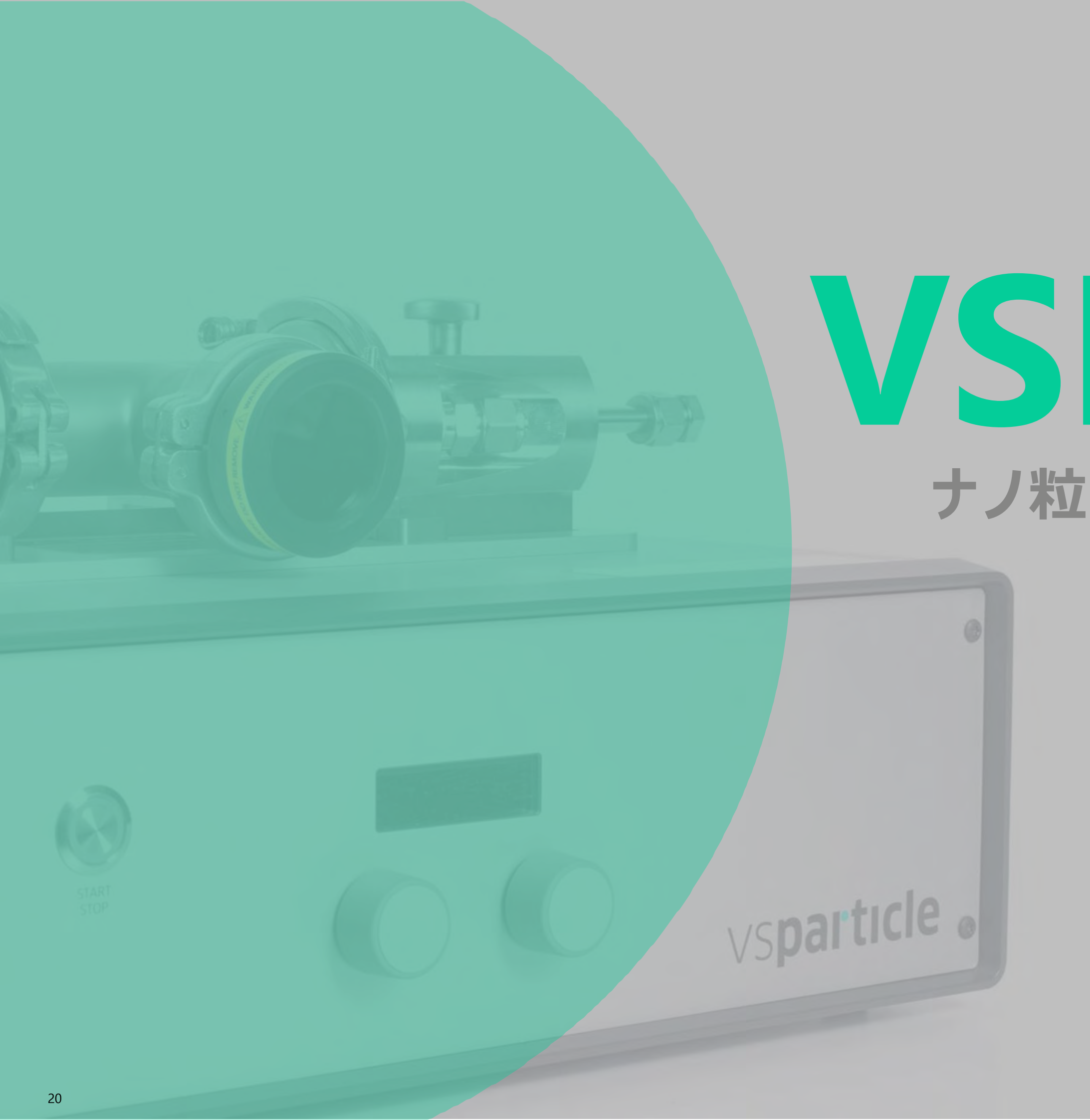
Digital version



Andreas Schmidt-Ottは、現在彼が顧問を務めるVSPARTICLEの共同設立者です。ETH(スイス連邦工科大学)チューリッヒ校の数学物理学部で博士号を取得し、1988年にスパークアブレーション技術を発見しました。ドイツのデュースブルク大学で電気工学部の助教授を務めた後、同大学の機械工学科で准教授になりました。

その後、オランダのデルフト工科大学の化学工学科でナノ粒子工学の教授に就任し、2018年から同大学の名誉教授となっています。またニコシアのキプロス研究所の非常勤教授も務めています。

主な専門分野はナノ粒子と材料技術です。これまでにドイツエアロゾル協会(GAeF)の事務局長や米国エアロゾル学会(AAAR)の理事を一時的に務め、またいくつかの機関誌の編集委員会メンバーやオランダ保健評議会の顧問でもありました。



VSP-G1

ナノ粒子ジェネレーター

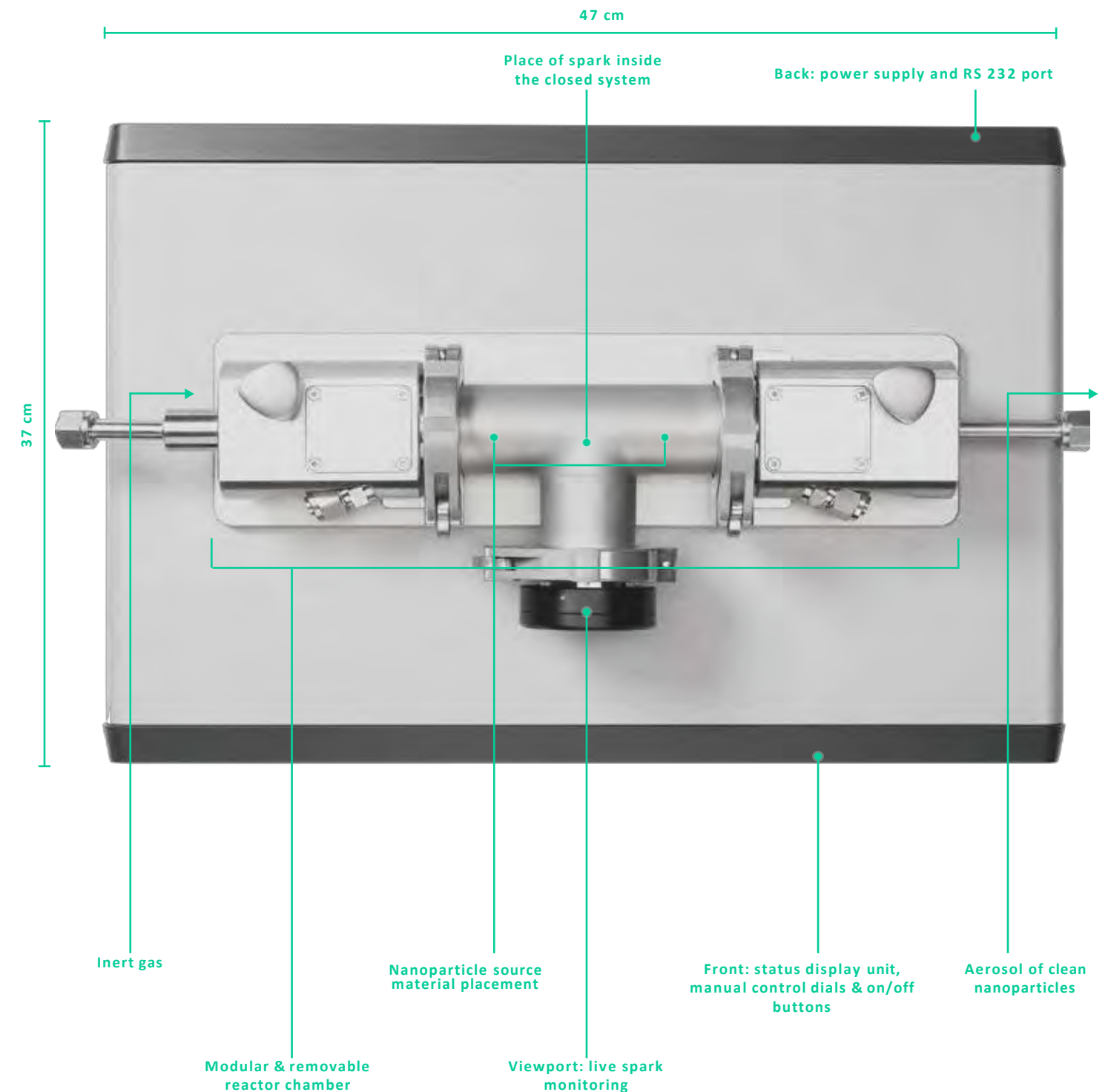
03



ボタンを押すだけで簡単に 目的のナノ粒子の製造が可能

VSP-G1は、制御された方法で目的の材料のナノ粒子を生成することを可能にする、ユーザーフレンドリーな卓上製品です。ナノ粒子生成は気相中で起こり、スパークアブレーションという物理的プロセスに基づいています。

このプロセスは再現性が良好で、常温常圧条件下で一對の(半)導電性電極のみを材料として界面活性剤を含まない純粋なナノ粒子を生成します。安全・シンプル・自動化がVSP-G1の主要な特徴であり、システムの操作は簡単でトレーニングも最小限で済みます。



VSP-G1 Nanoparticle Generator (VSP-G1)

VSP-G1 standard setup





Automated

experimentation

すべてのVSP-G1には、ユーザーがプロセスパラメータを制御するためのコントローラとソフトウェアシステムが付属します。このコントローラシステム(VSP-C1)を用いてユーザーはVSP-G1のプロセスパラメータを遠隔操作で直感的に制御することができます。コントローラに統合されているユーザーインターフェイスを介して、実験パラメータの調整のほか、ガス流量や電流、電圧のデータをロギングすることもできます。

これによって、VSP-G1は遠隔操作や実験自動化およびデータの可視化といった機能を持つ使いやすい装置となっています。



VSP-G1のナノ粒子生成のコントロール

アブレーションレート(スパークによる電極材料の減少量)は概ねmg/hオーダーで、電極材料に依存します。達成可能な粒径は1 nm~20 nmです。キャリアガス流量(Arの場合、1~25 L/min)や電圧(最大1.3 kV)、電流(最大10.4 mA)を調整することで、ナノ粒子のサイズ(平均径)を変えられます。

基板の表面被覆率は、電力出力と沈着時間を変化させることで制御することができます。■



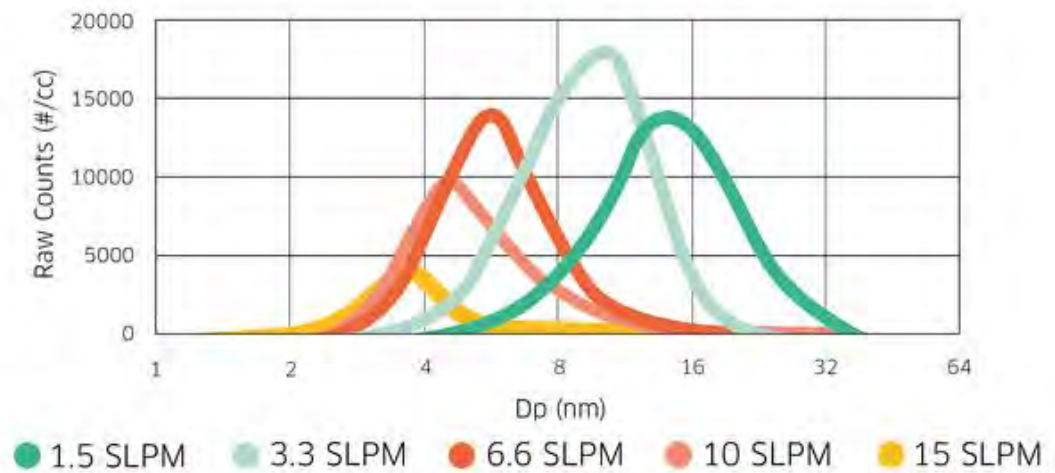
Output estimator

ナノ粒子サイズのコントロール

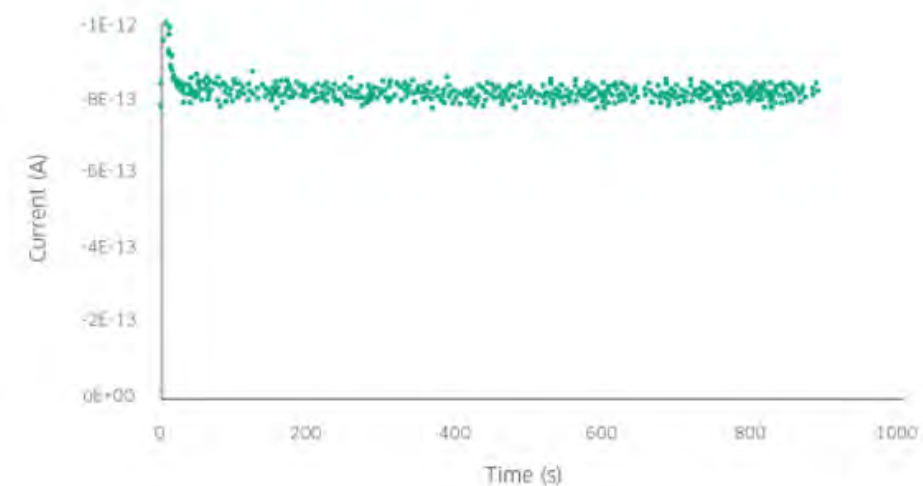
粒径分布を変化させる最も重要なパラメータはキャリアガス流量です。流量が高いほど、アブレーションで生じたクラスターが凝集する時間が短くなり、より小さいサイズの粒子が得られます。同様に、流量が低いとリアクター内で滞留する時間が長くなり、クラスター/粒子が凝集してより大きな粒子になります。

しかし、低流量の場合でも粒径分布はシャープなままです。また総出力(電圧×電流)の調整で電極材料のアブレーションレートが変化し、総出力が高いほどアブレーションレートも高くなり、生成粒子は大きくなります。■

粒径分布(スルーフロー、金電極、1 kV、5 mA)



粒径分布(DMA分級による)はキャリアガス流量が平均粒径に与える影響を示しています。(低流量では大きくなり、高流量では小さくなる)



出力(電流)の時間変動は小さく、安定しています。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 H Hydrogen 1.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He Helium 4 |
| 3 Li Lithium 6.94 | 4 Be Beryllium 9.01 | | | | | | | | | | | 5 B Boron 10.81 | 6 C Carbon 12.01 | 7 N Nitrogen 14.01 | 8 O Oxygen 16 | 9 F Fluorine 19 | 10 Ne Neon 20.18 |
| 11 Na Sodium 22.99 | 12 Mg Magnesium 24.3 | | | | | | | | | | | 13 Al Aluminum 26.98 | 14 Si Silicon 28.09 | 15 P Phosphorus 30.97 | 16 S Sulfur 32.06 | 17 Cl Chlorine 35.45 | 18 Ar Argon 39.1 |
| 19 K Potassium 39.95 | 20 Ca Calcium 40.08 | 21 Sc Scandium 44.96 | 22 Ti Titanium 47.87 | 23 V Vanadium 50.94 | 24 Cr Chromium 52 | 25 Mn Manganese 54.94 | 26 Fe Iron 55.84 | 27 Co Cobalt 58.93 | 28 Ni Nickel 58.93 | 29 Cu Copper 63.55 | 30 Zn Zinc 65.39 | 31 Ga Gallium 69.72 | 32 Ge Germanium 72.64 | 33 As Arsenic 74.92 | 34 Se Selenium 78.96 | 35 Br Bromine 79.9 | 36 Kr Krypton 83.8 |
| 37 Rb Rubidium 85.47 | 38 Sr Strontium 87.62 | 39 Y Yttrium 88.91 | 40 Zr Zirconium 91.22 | 41 Nb Niobium 92.91 | 42 Mo Molybdenum 95.94 | 43 Tc Technetium 98 | 44 Ru Ruthenium 101.07 | 45 Rh Rhodium 102.91 | 46 Pd Palladium 106.42 | 47 Ag Silver 107.87 | 48 Cd Cadmium 112.41 | 49 In Indium 114.82 | 50 Sn Tin 118.71 | 51 Sb Antimony 121.76 | 52 Te Tellurium 126.9 | 53 I Iodine 127.6 | 54 Xe Xenon 131.29 |
| 55 Cs Cesium 132.91 | 56 Ba Barium 137.33 | 57-71 Lanthanoids | 72 Hf Hafnium 178.49 | 73 Ta Tantalum 180.95 | 74 W Tungsten 183.84 | 75 Re Rhenium 186.21 | 76 Os Osmium 190.23 | 77 Ir Iridium 192.22 | 78 Pt Platinum 195.08 | 79 Au Gold 196.97 | 80 Hg Mercury 200.59 | 81 Tl Thallium 204.38 | 82 Pb Lead 207.2 | 83 Bi Bismuth 208.98 | 84 Po Polonium 209 | 85 At Astatine 210 | 86 Rn Radon 222 |
| 87 Fr Francium 223 | 88 Ra Radium 226 | 89-103 Actinoids | 104 Rf Rutherfordium 262 | 105 Db Dubnium 262 | 106 Sg Seaborgium 264 | 107 Bh Bohrium 266 | 108 Hs Hassium 268 | 109 Mt Meitnerium 272 | 110 Ds Darmstadtium 277 | 111 Rg Roentgenium 282 | 112 Cn Copernicium 285 | 113 Nh Nihonium 286 | 114 Fl Flerovium 289 | 115 Mc Moscovium 290 | 116 Lv Livermorium 293 | 117 Ts Tennessine 294 | 118 Og Oganesson 294 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--------------------------------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| Lanthanoids | | 57 La Lanthanum 138.91 | 58 Ce Cerium 140.12 | 59 Pr Praseodymium 140.91 | 60 Nd Neodymium 144.24 | 61 Pm Promethium 145 | 62 Sm Samarium 150.36 | 63 Eu Europium 151.96 | 64 Gd Gadolinium 157.25 | 65 Tb Terbium 158.93 | 66 Dy Dysprosium 162.5 | 67 Ho Holmium 164.93 | 68 Er Erbium 167.26 | 69 Tm Thulium 168.93 | 70 Yb Ytterbium 173.04 | 71 Lu Lutetium 174.97 |
| Actinoids | | 89 Ac Actinium 227 | 90 Th Thorium 231.04 | 91 Pa Protactinium 232.04 | 92 U Uranium 238 | 93 Np Neptunium 237 | 94 Pu Plutonium 243 | 95 Am Americium 244 | 96 Cm Curium 247 | 97 Bk Berkelium 247 | 98 Cf Californium 251 | 99 Es Einsteinium 252 | 100 Fm Fermium 257 | 101 Md Mendelevium 258 | 102 No Nobelium 259 | 103 Lr Lawrencium 261 |

この周期表では、VSP-G1で使用できる可能性があるものの、電極作成が困難なためハイライトされていない元素もあります。

ご希望の元素がハイライトされていない場合は、下記までお問合せください。

[日本代理店]
東京ダイレック株式会社
info@tokyo-dylec.co.jp
TEL: 03-5367-0891

電極材料として 使用可能な元素

VSP-G1は、電極に加工できるあらゆる導電性および半導電性材料を使用することができ、上の周期表の中で緑色にハイライトされたすべての元素が該当します。

このため、研究者は幅広い種類のナノ材料を自由に作成・探求・創造することができます。1台のVSP-G1で異なる2種類の元素電極や合金電極を組み合わせたり、2台のVSP-G1を直列または並列に接続したりすることで、探求の幅はさらに広がります。

またバルク状態では混ざり合わない材料からでも、二元金属ナノ粒子や多様な組合せのナノ合金を生成することができます。

お問い合わせ
[VSPARTICLE代理店]
東京ダイレック株式会社
info@tokyo-dylec.co.jp
TEL : 03-5367-0891

プレゼンテーション
技術や製品について
詳しくご説明します。

技術面の確認
ご希望の元素・合金の
電極が作成が可能か等

御見積書の作成
御打合せ内容に応じて
御見積書を作成します。

1 2 3 4 5 6 7 8

ご購入までの流れ

ご購入
ナノ粒子ジェネレーター
VSP-G1

納品
納期は通常3~4か月

設置と取扱説明
納品時に現地で
行います。

2年間の動作保証
納品から1年後を目安に
無償メンテナンスサービス
(ソフトウェアアップデート、
清掃、リーク試験、モーター
制御試験、システム校正)
を受けることができます。
ソフトウェアのアップデート
は5年間対応となります。

ナノ粒子生成

VSP-G1の操作ワークフローはシンプルで迅速なプロセスです。まず、選択した材料の電極をリアクターチャンバーにロードします。生成したナノ粒子を捕集したい場合は、基板をセットした捕集用アクセサリをVSP-G1の下流側に取り付けます。次に、プロセスパラメータ(流量、電圧、電流など)を設定するとナノ粒子生成の用意は完了です。

必要となる捕集時間は、達成したい表面被覆率や捕集方法、電極のアブレーションレートに依存しますが、通常は数分(TEMグリッドなど)~数時間(フィルタなど)の範囲です。捕集完了後、キャリアガスを2分程度流してシステムをフラッシング(滞留しているナノ粒子を除去)することで、ナノ粒子を捕集した基板を安全に取り出して特性評価ができるようになります。

このように操作ワークフローがシンプルであるため、捕集基板や電極を素早く交換して異なる元素組成のナノ粒子生成の準備をすぐに行うことができます。この準備プロセスは、リアクターの清掃作業も含めて15分程度で終わり、その後システムを再接続して次のナノ粒子生成を行うことができます。

メンテナンスと清掃

使いやすいデザインとワークフローのVSP-G1は、清掃方法も簡単です。リアクターヘッドの清掃にはリアクターチャンバー、電極ホルダー、電極(および使用した捕集用アクセサリ)をペーパータオルや綿棒などで拭き取ってください。より綺麗に清掃するため、一般的な実験用溶剤(水、エタノール、イソプロパノール、アセトンなど)を使用して拭くことをお勧めします。

電極材料を変更する際には必ず清掃を行ってください。そうでない場合でも、良好な成果を得るためには定期的に清掃することをお勧めします。

捕集用アクセサリ下流側のフィルタ

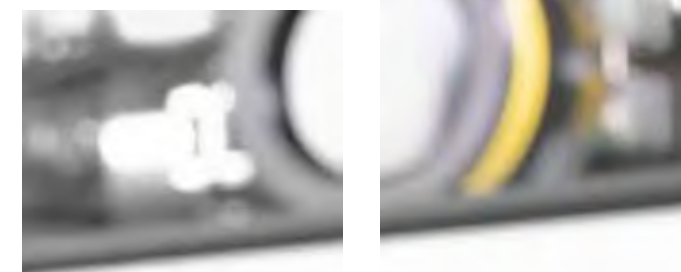
ガス排気は適切なHEPAフィルタまたはULPAフィルタでろ過処理する必要があり、大容量HEPAプレフィルタとその後ULPAエンドフィルタを使用することを推奨しています。VSP-G1で生成される20 nm未満のナノ粒子の捕集効率は、通常99.99%以上です。エンドフィルタがいっぱいになる前にプレフィルタを交換してください。

使用後のフィルタは、地域のガイドラインや使用したろ過システムに規定される要件に従って適切に廃棄してください。少なくとも、フィルタは丈夫なビニール袋などにいれて密封し、ラベルを貼るように入してください。

カスタマーサポート

VSP-G1のご購入後、VSPARTICLEチームはプロジェクト初期段階において必要となるすべてのトレーニングと技術サポートを提供します。

お客様に当社の技術を最大限ご活用頂くため、私たちはいつもお客様との緊密な連携を維持するよう努めています。



システムの操作



仕様

03

技術仕様

- ガスインレット/アウトレット：外径10 mmのステンレス管（Swagelok継手付）
- 寸法：ベースユニット 約370 × 470 × 237 mm
- 重量：ベースユニット 16 kg、リアクターアセンブリ 6 kg、マウントプレート 3 kg
- 電源：120～240 VAC（お住まいの国で仕様可能な電源コードが付属します）
- 要求設備：ラボ換気システムへのアクセス（VSP-G1をクリーンルーム内に設置する必要はありません）

操作条件など

- 粒子生成レート：0.01～100 mg/h（電極材料に依存）
- 粒子個数濃度： $10^8 \sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ （電極材料に依存）
- 一次粒子径：1～20 nm（設定および電極材料に依存）
- 粒子帯電率：<10 %（出口にて）
- 動作環境：常温、常圧
- キャリアガス流量：1～25 L/min（リクエストに応じ、より高流量でのご使用も可能です）
- 使用可能なガス：Arまたは N_2 （不活性ガスとして）、 O_2 または H_2 （粒子の酸化・還元用として、純度5.0（99.999 %以上）推奨）、その他希ガス（He, Ne, Xe, Kr）には非対応
- 電極材料：あらゆる導電性材料および半導電性材料

外部接続

- 端子：RS232シリアルポート
- コネクタ：F-DE9 (sub-D, 9 pin)
- 定格/仕様：2ピン、3ピン、5ピンのみ通信
- 定格絶縁電圧：2.5 kV

環境条件

VSP-G1は以下に示す一般の環境条件で安全に動作するように設計されています。

- 室内での使用
- 標高2,000 m以下
- 室温5 °C～40 °C
- 室温31 °C以下は相対湿度上限80 %、31 °C以上での相対湿度上限は40 °Cで50 %まで直線的に減少
- 供給電圧の変動は±10 %以下
- 過渡過電圧は過電圧カテゴリー-IIまで
- 供給電源に一時的に過電圧が発生することがある
- 汚染度2

電極

実験に適した電極材料をお選びください。

スパーク覗き窓

紫外線カット加工の窓を通じて安全にスパークの様子を観察できます。

位置合せピン (2個)

リアクターを正しい位置に取り付けるために使用します。

電極 (2個)

実験に適した電極材料をお選びください。

マスフローコントローラ

VSP-C1の設定に応じてガス流量を正確に計測・制御します。

HEPAフィルタ

排気口に取り付けることで、ナノ粒子が空气中に流出することを防いで安全に作業が行えます。

機器同梱・付属品

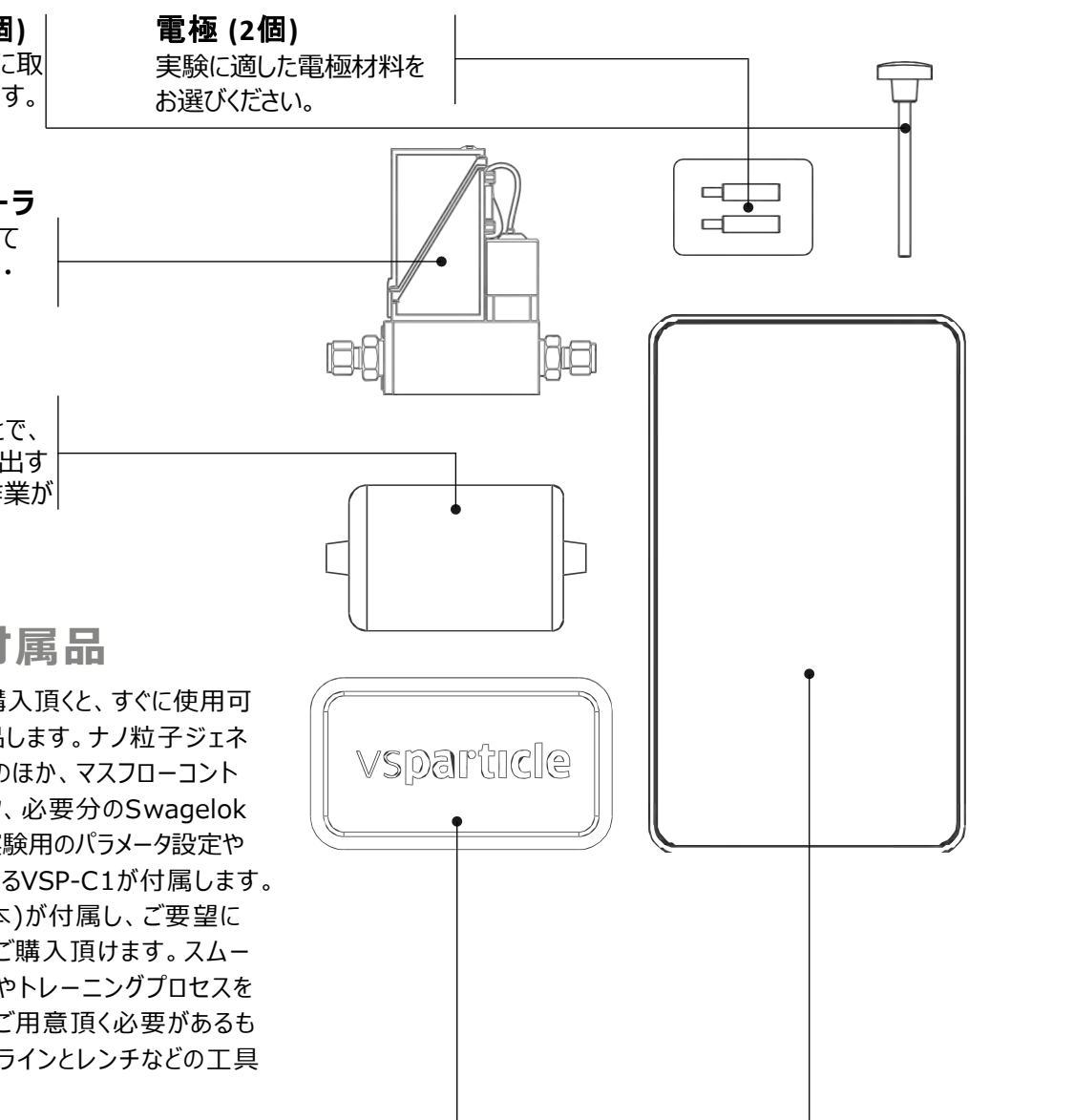
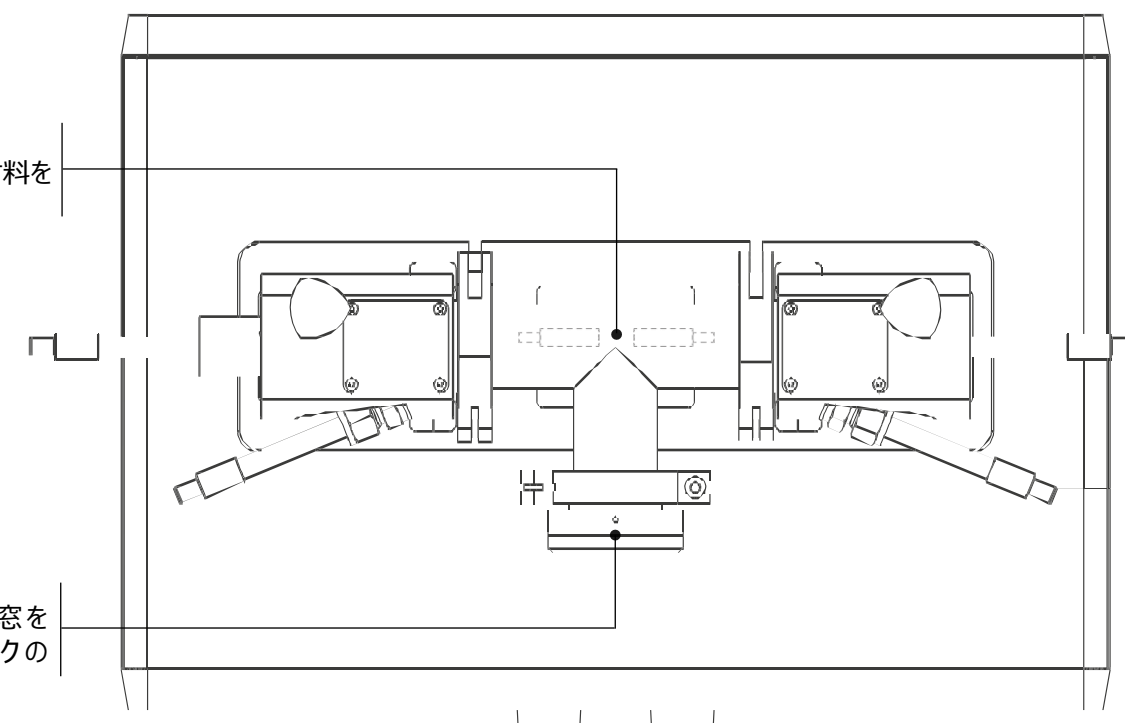
VSP-G1システムを購入頂くと、すぐに使用可能な状態で製品を納品します。ナノ粒子ジェネレーターVSP-G1本体のほか、マスフローコントローラ、HEPAフィルタ、必要分のSwagelok継手とチューブ、および実験用のパラメータ設定やデータロギングに必要なVSP-C1が付属します。必ず銅電極(1組=2本)が付属し、ご要望に応じてその他の電極をご購入頂けます。スムーズに機器のセットアップやトレーニングプロセスを行うためにお客様側でご用意頂く必要があるものは、キャリアガス供給ラインとレンチなどの工具だけです。

MFC+ユニット

マスフローコントローラと圧力センサを接続します。

VSP-C1

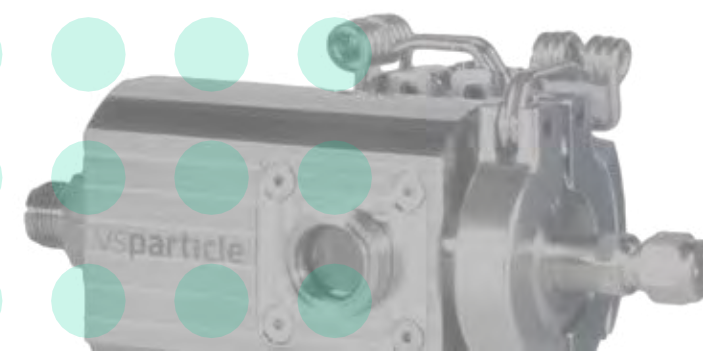
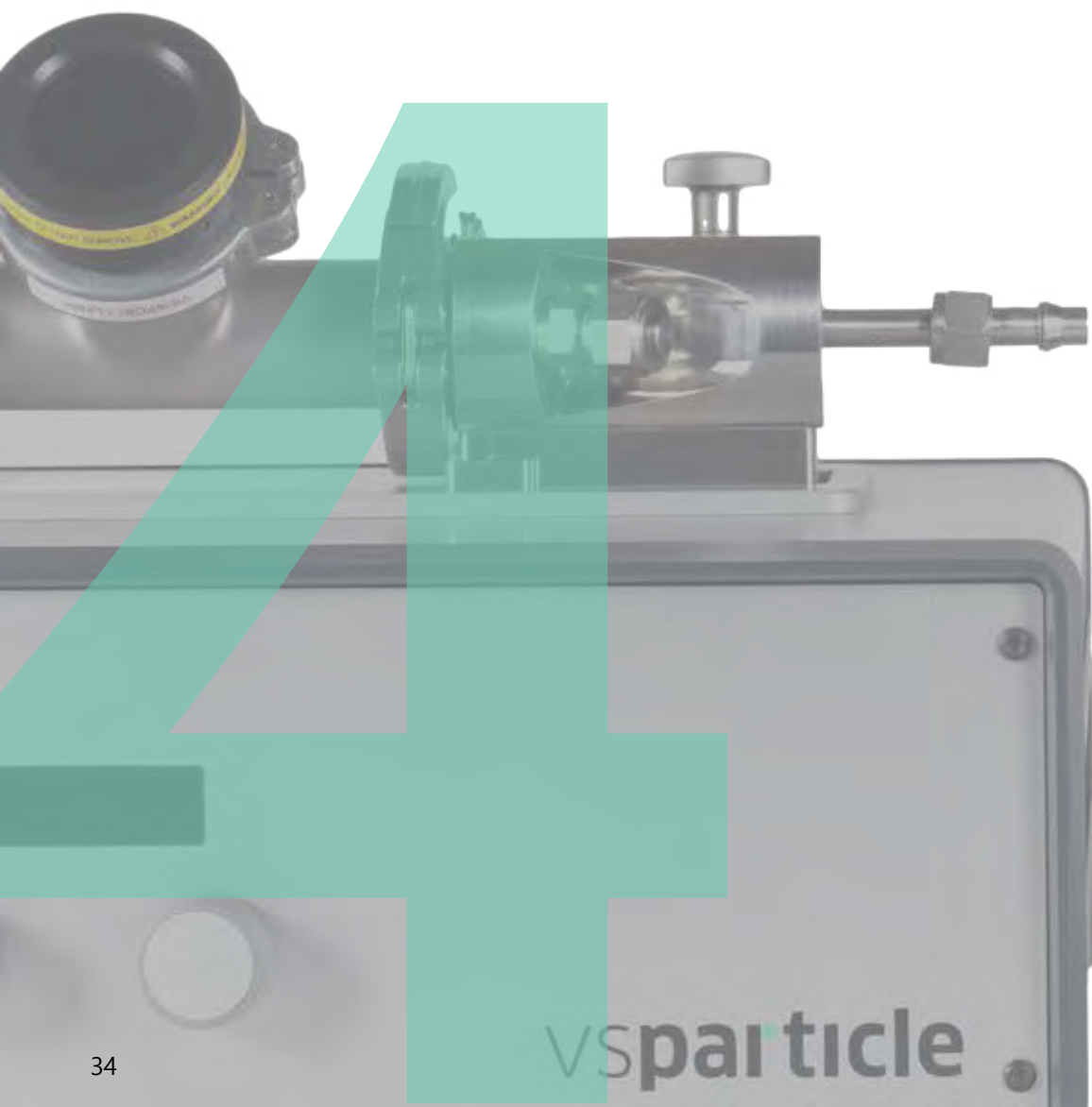
出力パラメータを簡単に制御したり、実験データの可視化と取得を行うことができます。



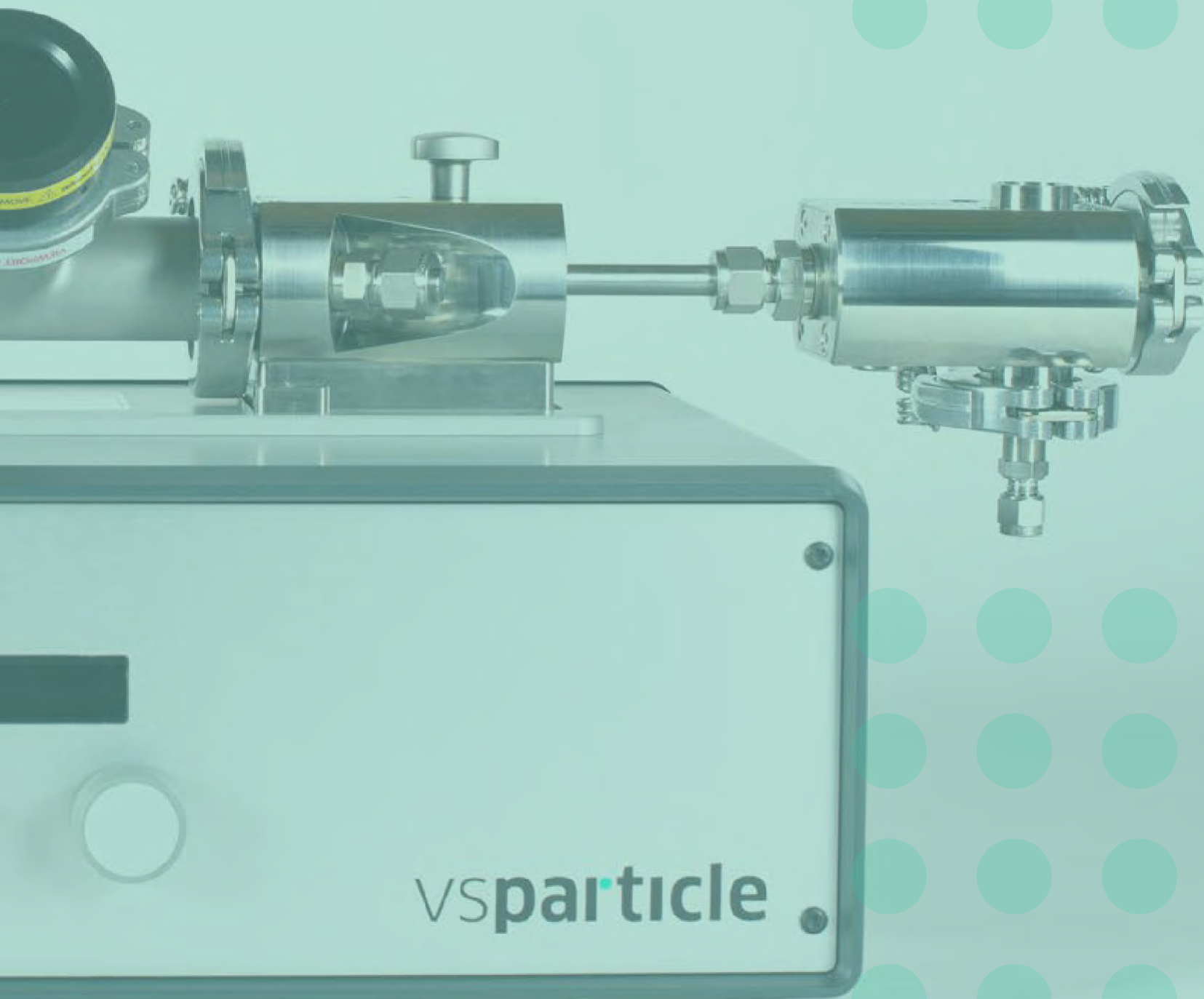
VSP A-Series:

Deposition

ナノ粒子ジェネレーター-VSP-G1で合成した
ナノ材料は、VSPARTICLEが設計した
アクセサリを使用して基板に沈着させることが
できます。



04



VSP particle



VSP-A1 : 拡散捕集用アクセサリ

VSP-A1アクセサリは、基板をナノ粒子の流れと平行に配置し、凝集の進んでいない状態で粒子を沈着捕集するために設計されています。このアクセサリを使用した場合は、表面被覆率は低くなり(通常1~10%)、粒子同士の衝突を抑えて粒子の変形を防ぐことができます。

2D形状の基板

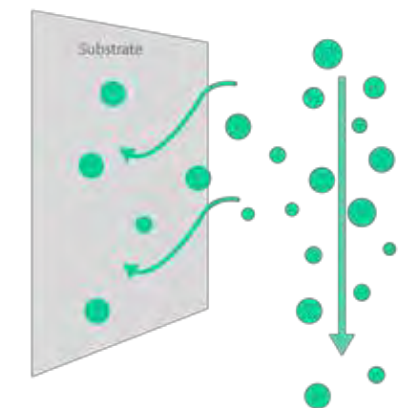
- 10x10 mm
- ブラウン運動
- 表面被覆率1~10%

基板

- TEMグリッド
- シリコンウエハ
- 被覆ウエハ

アプリケーション

- In-situ TEM
- 電極触媒
- 光触媒
- In-situ分光法
- 材料研究



VSA-A1 拡散アクセサリを用いた粒子の沈着の例

Au(金)ナノ粒子

試験条件
 電極：Au(金)
 キャリアガス：Ar(アルゴン)
 電圧：1.3 kV
 電流：8.1 mA
 キャリアガス流量：10 SL/min
 沈着時間：30 min

結果
 30分間の沈着後の表面被覆率は20%で、原子クラスターや15 nm程の粒子が捕集された。表面被覆率は沈着時間を調整することで変化させることができる。1~2分ほどの沈着で、TEM分析用に十分な量の粒子を捕集できる。

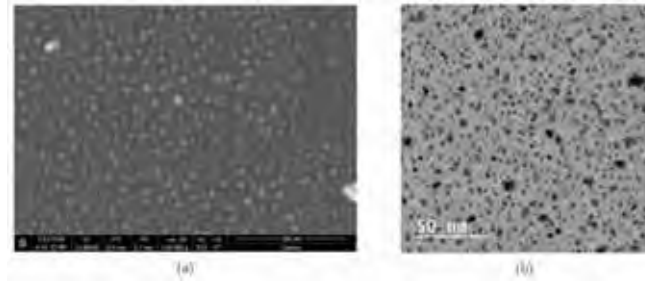


Fig. 1

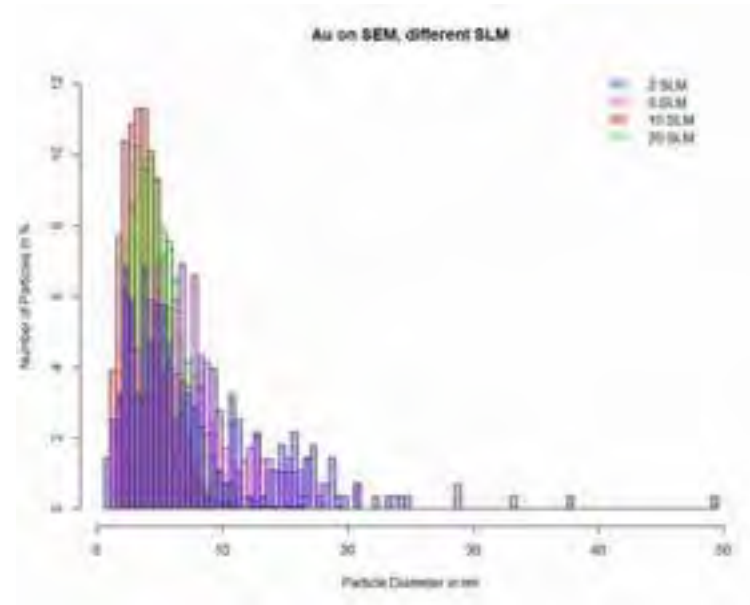


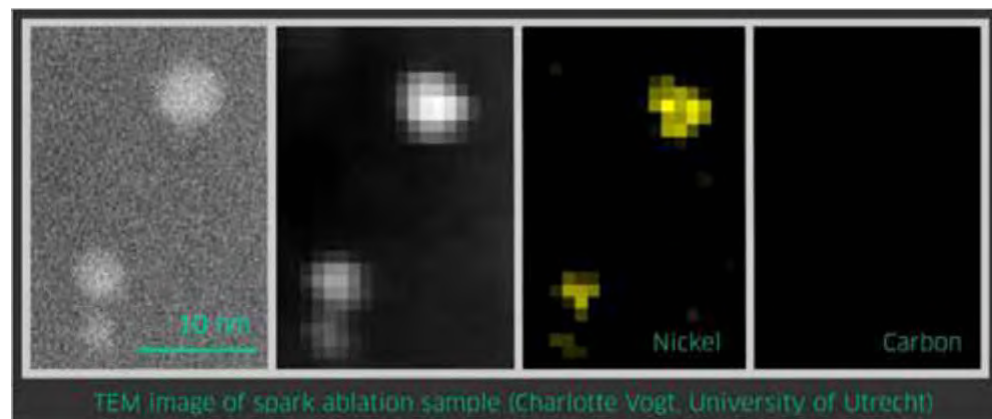
Fig. 2

Fig. 1
 同じタイプの粒子サンプルのSEMおよびTEM像：
 (a)シリコンウエハ上の金ナノ粒子
 (b)TEMグリッド上の金ナノ粒子

Fig. 2
 キャリアガス流量による沈着後の粒子サイズの違い (SEMによるサイズ分析)

Ni(ニッケル)ナノ粒子

試験条件：
 電極：Ni
 キャリアガス：Ar
 電圧：1.3 kV
 電流：8.1 mA
 キャリアガス流量：10 SL/min
 沈着時間：5 min

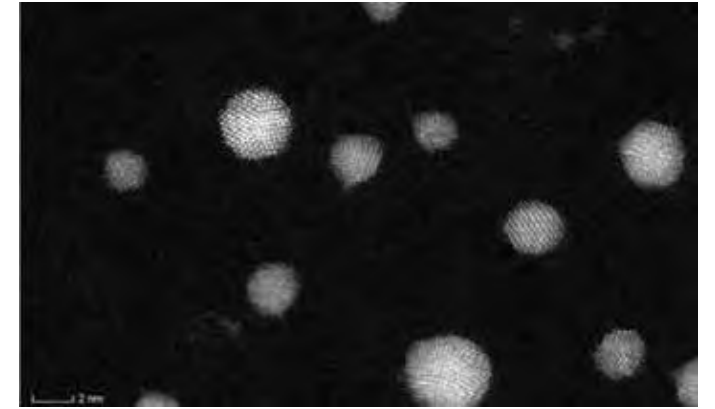


拡散で沈着したNiナノ粒子のTEM像(米国オークリッジ国立研究所にてin-situをTEM使用)

Au(金)ナノ粒子

試験条件
 電極：Au
 キャリアガス：Ar
 電圧：1.3 kV
 電流：8.1 mA
 流量：10 SL/min
 沈着時間：5 min

結果
 ウィーン工科大学との共同研究で撮影した高解像度のTEM像が撮影された。常温常圧条件下で生成した金ナノ粒子は結晶性でサイズは二峰性を示した。

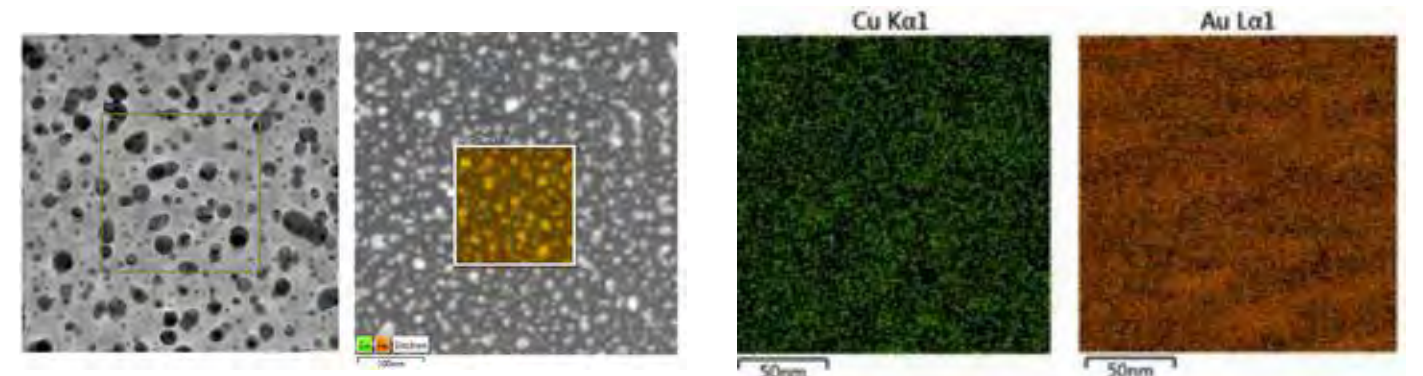
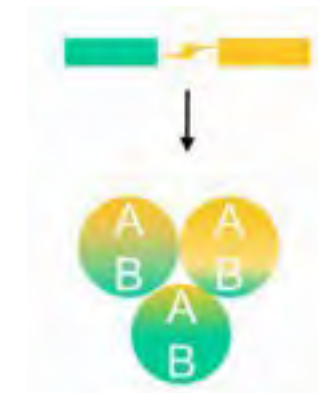


TEMグリッドに沈着した高解像度TEM像

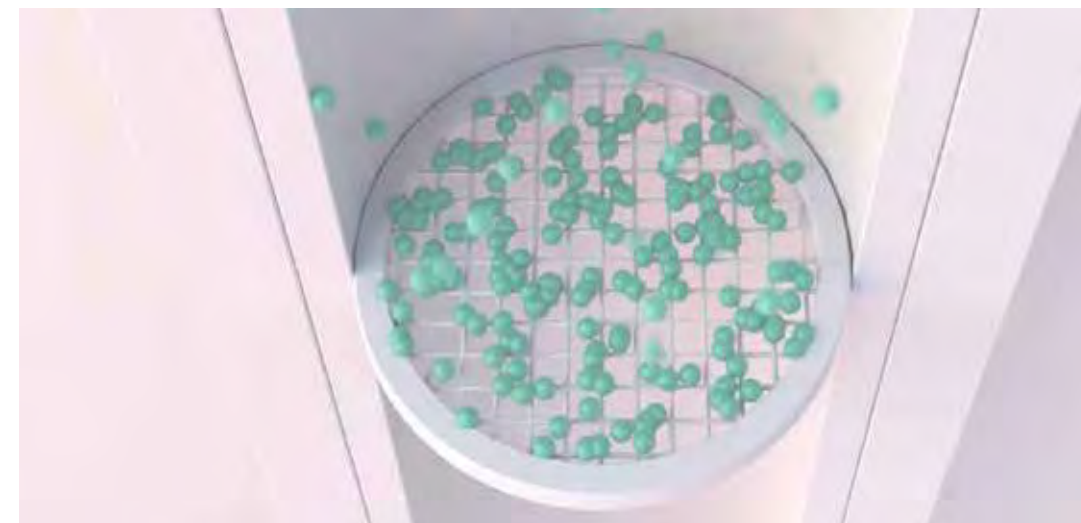
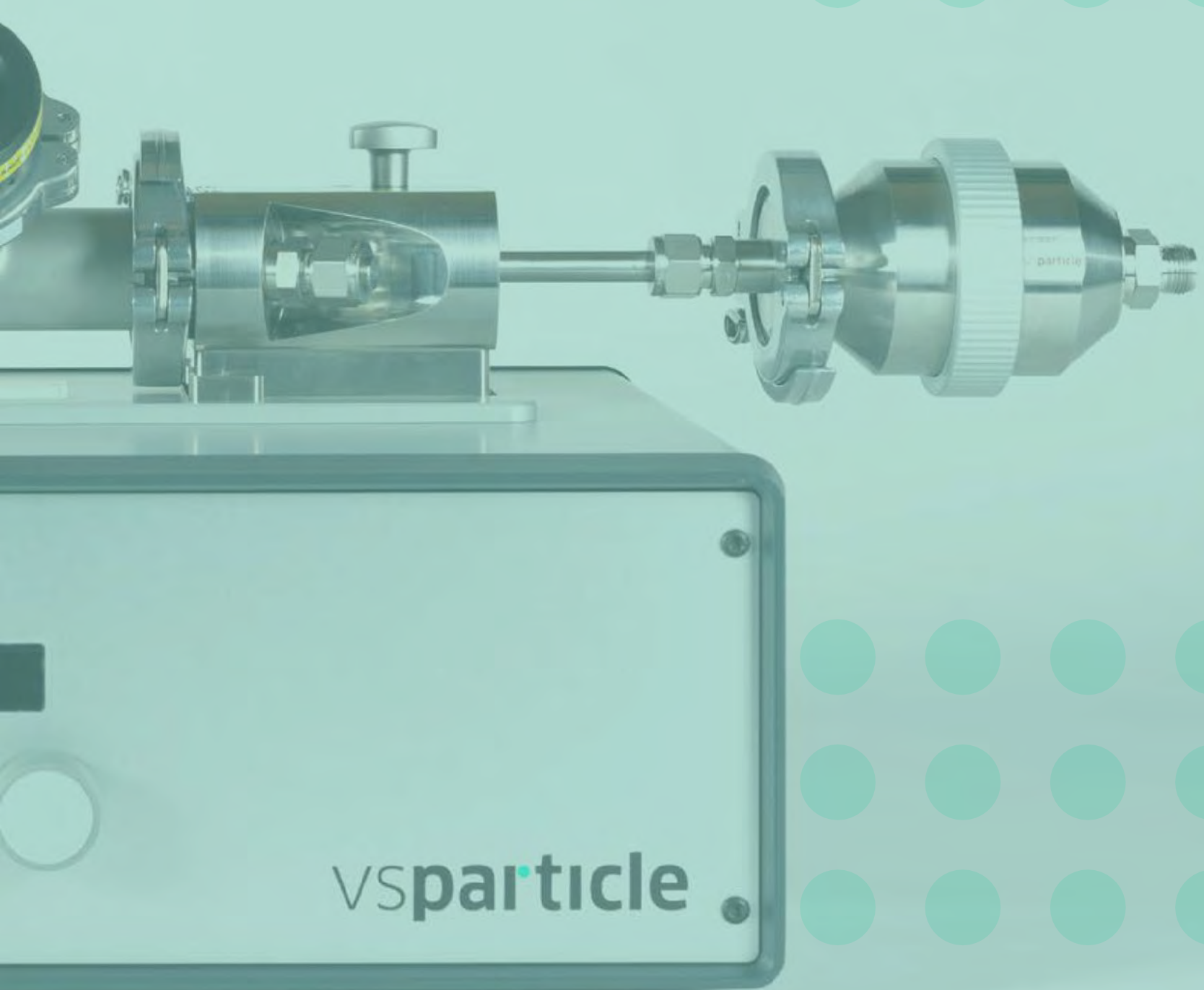
Au-Cu(金-銅)合金ナノ粒子

試験条件
 電極：Au、Cu(銅)
 キャリアガス：Ar
 電圧：1.3 kV
 電流：8.1 mA
 キャリアガス流量：10 SL/min
 沈着時間：1~4 h

結果
 2種類の異なる電極を用いてAu-Cuナノ粒子の気相合成に成功した。高流量のキャリアガス中で異なる材料のナノ粒子がよく混合されるため、純粋な金属(単体)電極から豪絵金ナノ粒子を合成することができた。



DENSSolution社製Climateチップ上の沈着画像と組成分析



VSP-A2 : ろ過捕集用アクセサリ

VSP-A2アクセサリは、多孔質基板の広い範囲上にナノ粒子を沈着捕集するために設計されています。基板として例えば、メンブレンフィルタやファイバフィルタ、カーボンクロスなどを使用できます。

沈着

- $\varnothing = 47\text{mm}$
- 多孔質基板に最適

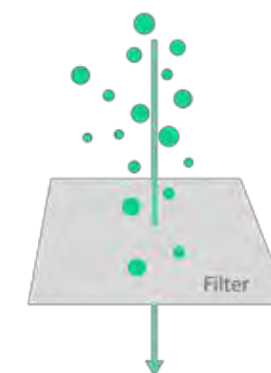
アプリケーション

- 電極触媒
- 光触媒
- In-situ分光法
- 支持体なしでの純粋なナノ粒子生成
- 一からの(光)触媒合成

基板

- ろ紙
- カーボンクロス
- 金属メッシュ

ろ過捕集用アクセサリは、ナノ粒子の流れに対して垂直に配置された基板の広い範囲上にナノ粒子を沈着させることができます。



04

VSP-A2ろ過捕集用アクセサリを用いた多孔質基板上へのナノ粒子沈着の例

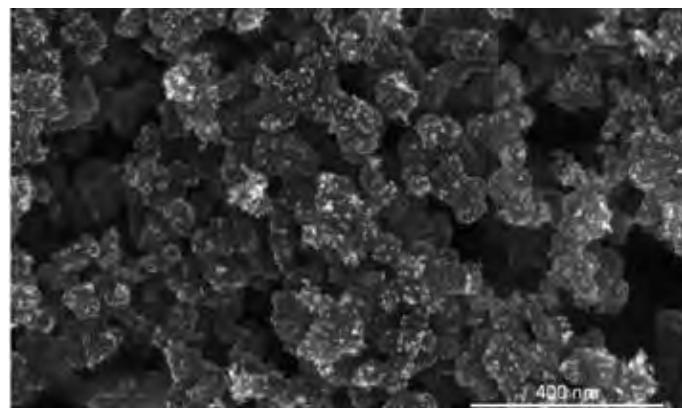
カーボクロス上での触媒合成

試験条件

電極：Au
キャリアガス：Ar
電圧：1.3 kV
電流：8.1 mA
キャリアガス流量：3 SL/min
沈着時間30 min

結果

カーボクロス上への金ナノ粒子沈着に成功した。
カーボンは支持体として、金は触媒として働く。



電極触媒研究用にVSP-A2ろ過捕集用アクセサリを用いてカーボクロス上に沈着させた金ナノ粒子のSEM像

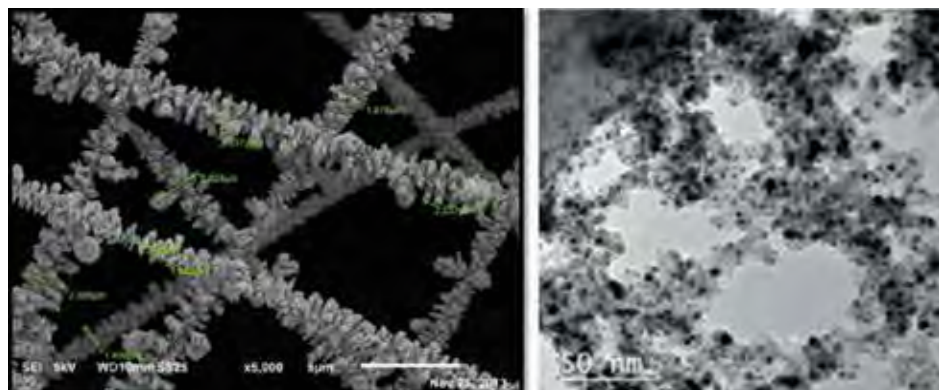
エレクトロスピンワイヤ上での触媒合成

試験条件

電極：Au-Al(アルミニウム)
キャリアガス：Ar
電圧：1.3 kV
電流：8.1 mA
キャリアガス流量：3 SL/min
沈着時間：30 min

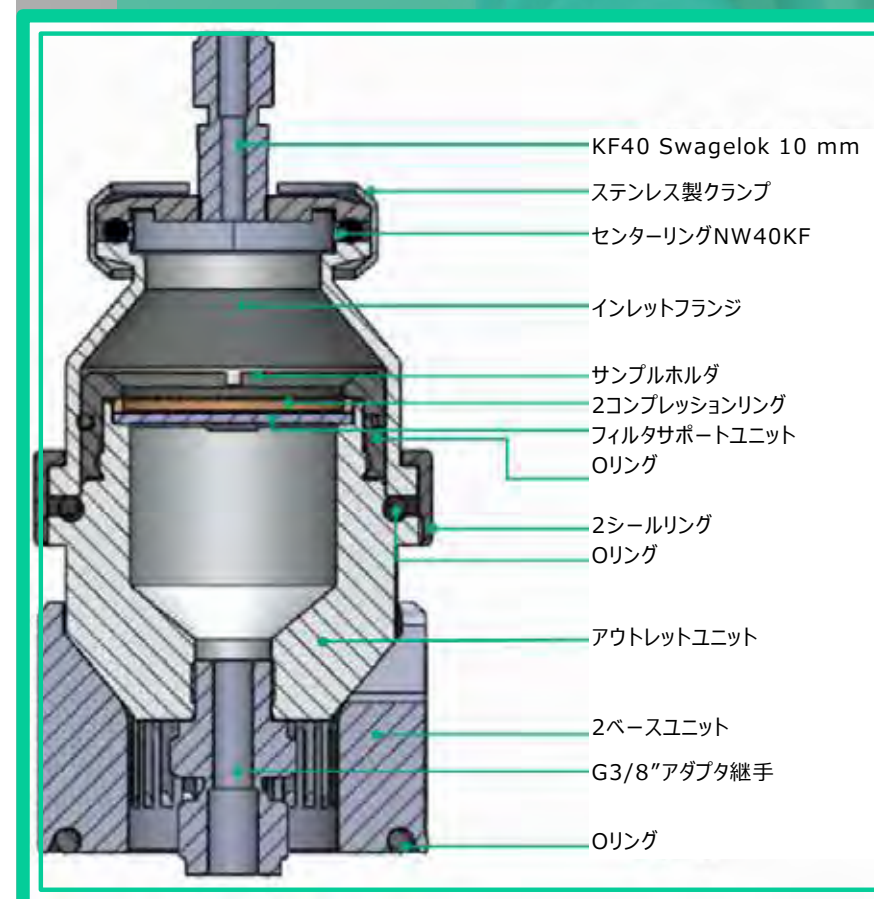
結果

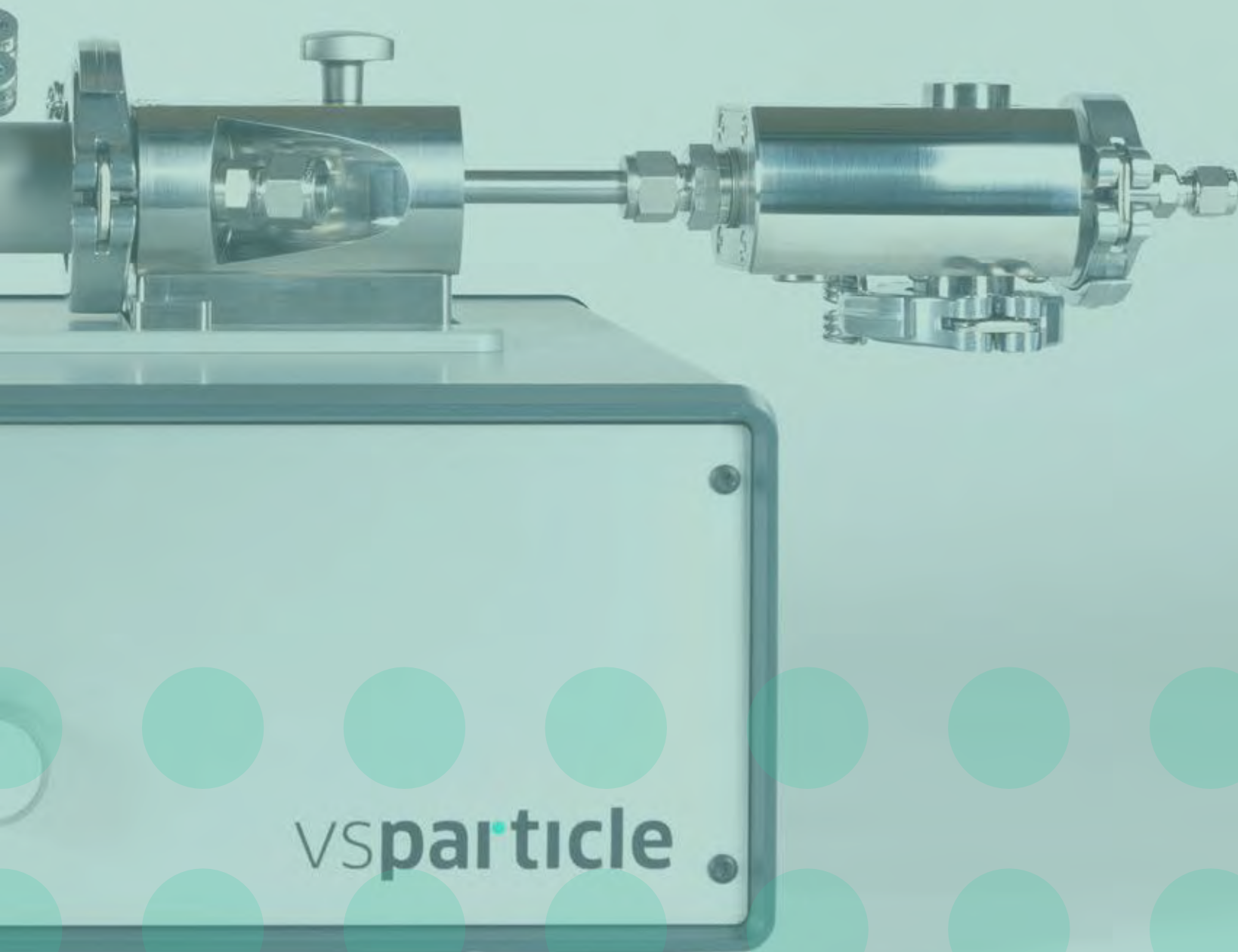
エレクトロスピン法で生成したワイヤ上に粒子が沈着堆積し、多孔質構造が形成された。



多孔質構造のSEM像

酸化アルミニウム粒子(灰色)と金粒子(黒色)が観察されたTEM像(左上にワイヤがある)





VSP-A3慣性衝突捕集用アクセサリ

VSP-A3アクセサリは、ナノ粒子をスポット的に積層沈着させるために設計されています。

沈着

- スポットサイズを調整可能(最大3 mm)
- 金属(例: Au)や金属酸化物(例: Cu_xO)の積層沈着が可能
- 操作条件:
-室温
-0.1 mbar

アプリケーション

- ガスセンサ
- バイオセンサ
- ナノ材料の多孔質層

基板

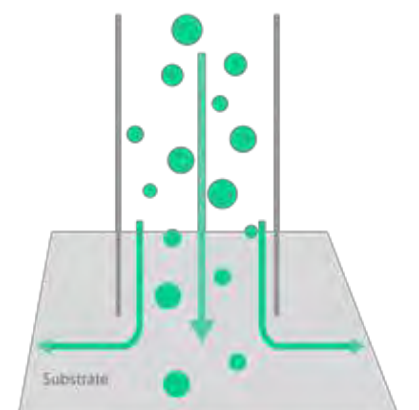
- シリコンウエハ
- TEMグリッド

This accessory has to be connected to an oil free Vacuum Pump, which can be provided by VSParticle on demand.

VSP-G1で生成したナノ粒子エアロゾルフローは、ノズル(ご要望のスポットサイズに適した孔径のものをご使用ください)を通過することで加速し、粒子の流れに対して垂直に配置された基板に衝突します。

粒子を積層させることで、常温常圧条件下で安定した多孔質ナノ構造を成長させることができます。(例: 金属酸化物、貴金属)

このアクセサリはオイルフリー真空ポンプ(VSPARTICLEからご購入頂くことも可能)に接続して使用します。



VSP-A3アクセサリを用いたナノ粒子積層沈着の例

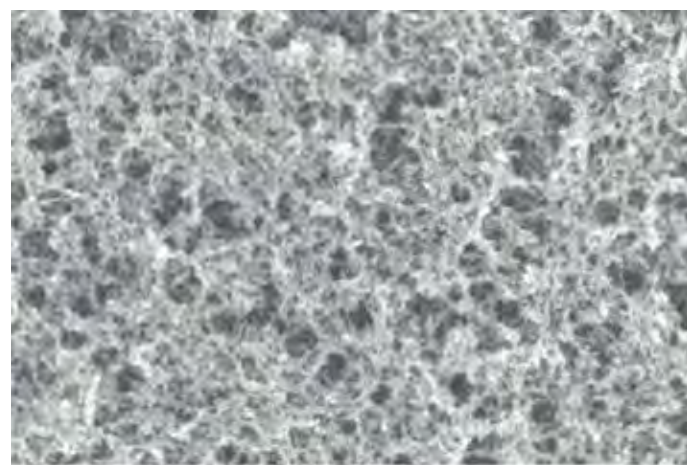
Cu_xOとAuの多孔質積層沈着

試験条件1

電極：Cu
 キャリアガス：Ar
 電圧：1 kV
 電流：4 mA
 キャリアガス流量：1 SL/min
 沈着時間：1 min

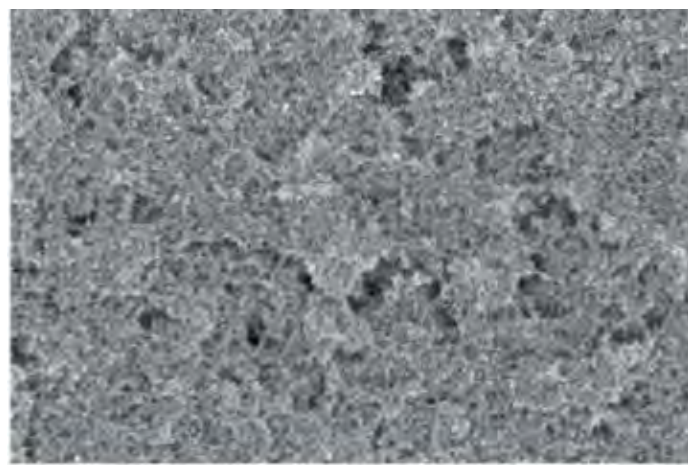
試験条件2

電極：Au
 キャリアガス：Ar
 電圧：1 kV
 電流：4 mA
 キャリアガス流量：1 SL/min
 沈着時間：1 min



Cu_xO nanoporous film

500 nm



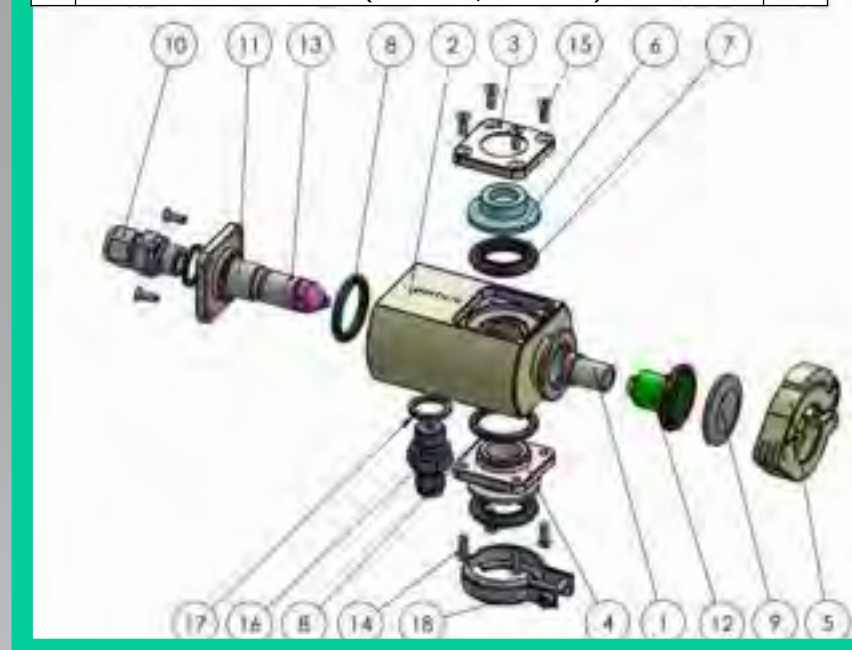
Au nanoporous film

500 nm

Cu_xO(左)とAu(右)のナノ多孔質層のSEM像

スポットサイズ(0.1 μm~3mm)や空隙率、層厚み(50 nm~数μm)などの沈着パラメータを変更することができます。

| 型番・部品説明 | 数量 |
|--|----|
| 1 105.01-009 : サンプルホルダアセンブリ | 1 |
| 2 105.01-011 : チャンバ | 1 |
| 3 105.01-012 : フランジウィンドウ | 1 |
| 4 105.01-023 : アウトレットフランジ(DN25KF) | 1 |
| 5 1306AL : クイックピンジクランプ(DN20/25KF)* <small>DEMACO社製</small> | 1 |
| 6 VP-25-NW : 7056ガラスビューポート(DN25KF)* | 1 |
| 7 12244 : センターリング(DF25KF)* | 2 |
| 8 1284 : Oリング(DF25KF)* | 2 |
| 9 14244 : プランクフランジ(DF25KF/DF20KF)* | 1 |
| 10 SS-10M0-1-6RS : ステンレスSwagelokチューブ継手 | 1 |
| 11 105.01-005 : インレットフランジアセンブリ** <small>Lechler社製</small> | 1 |
| 12 105.01-008 : リニアアジャストメントアセンブリ | 1 |
| 13 Viton 15x1.5 Oリング | 1 |
| 14 六角穴付ボルトM4x12 | 4 |
| 15 六角穴付皿ボルトM4x12 | 8 |
| 16 SS-6M0-1-6RS : ステンレスSwagelokチューブ継手 | 1 |
| 17 SS-6-RS-2V : ステンレスガスケット | 2 |
| 18 1312 : ステンレスクランプ(DN25KF/DN20KF)* | 1 |



05



VSP-P1 ナノプリンター



VSP-P1 product video

ナノプリンター-VSP-P1

ナノ材料の供給源として1台または2台のナノ粒子ジェネレーター-VSP-G1を搭載するナノプリンター-VSP-P1は、ユニークな特性を持つ無機材料のナノ構造をプリントすることができます(VSP-G1はあらゆる導電性および半導電性材料を使用できます)。

プリントされた層は、気相で合成され界面活性剤などの無機不純物を含まない20 nm以下のナノ粒子で構成されます。

VSP-P1を使用すると、様々な材料や厚みでナノ多孔質層を自動でプリントすることができます。

ナノプリンターの仕組み

粒子生成はVSP-G1によって行われます。スパークアブレーション法によって電極から生成したナノ粒子はキャリアガスによってエアロゾルとしてVSP-P1へ向かって流れ、ノズルまで運ばれます。エアロゾルはノズルから出てプリントチャンバ(0.1~0.8 mbarの低真空)内の基板に衝突します。差圧およびノズルを通過することによって加速されたナノ粒子は、高い運動エネルギーを持っているため基板に衝突して強く付着します。このメカニズムは「supersonic impaction」と呼ばれています。



2台のVSP-G1を搭載したナノプリンター-VSP-P1



システム概要と 主な構成部品

05

VSP-P1の主な構成部品は、プリントステージとプリントヘッドを含むプリントチャンバー、ガスイフラストラクチャーおよび、制御システムです。またプリンターの動作には、ベースユニットとリアクターチャンバーで構成されるナノ粒子ジェネレーター-VSP-G1が必要です。

ナノ粒子ジェネレーター VSP-G1

VSP-G1は放電(スパーク)によって電極から微量の材料を繰り返し気化させてナノ粒子エアロゾルを生成します。

VSP-G1をVSP-P1に組み込まれた状態では、VSP-P1側からVSP-G1を完全に制御することができます。



プリントステージ (基板を置く場所)

プリントステージはプリントチャンバーに内蔵されたXYZステージで構成されています。ノズルは固定されていて動かないため、粒子沈着位置の移動は全てこのステージの動きによって行われます。このステージはステッピングモーターを相互組み合わせたねじシステムにより、3次元方向に協調した移動が可能となっています。



カメラ

VSP-P1には2台のカメラが搭載されています。1台はプリント基板の品質管理用(光学ズーム2倍)で、もう1台は基板とプリントパターンの位置合わせ用の精密カメラ(光学ズーム10倍)です。

ノズル

VSP-P1にはサイズの異なる3つのノズルが付属します。ノズルが小さい程、小さなスポットでの印刷が可能です。ガス流量が異なるため、チャンバー圧力もノズルサイズに依存します。



プリントチャンバー

ナノ材料の沈着を行うプリントチャンバーは、真空ポンプに接続されて低真空(0.1 ~ 0.8 mbar)になっています。

Vacuum Pump

VSP-P1はLeybold Ecodry 65オイルフリーポンプを使用して、サンプルの汚染を回避しながら粒子の沈着に必要な低真空状態を作ります。





ナノ粒子沈着の自動化

ナノプリンターVSP-P1は、デバイス上のタッチスクリーンから直接制御できるほか、インターネットに接続された任意のデバイスからアクセスできるハイブリッド制御インターフェイスを介してリモートで制御することもできます。基板が置かれているXYZステージの動きを制御することで、ユーザーはあらゆる種類のパターンの積層を自動的に作成できます。すべての実験パラメータは、VSPソフトウェアを使用してユーザーインターフェイスから制御できます。

パターン化

ユーザーインターフェイスからスクリプトを実行することで、必要なプリントパターンを決定できます。異なるスクリプトの使用やスクリプトを変更することで、複雑なパターンや複数のサンプルの連続生産が可能になります。

層の幅、厚さ、空隙率の制御

VSP-P1を使用すると、まばらな凝集体から数 μm に及ぶ連続層まで、さまざまな層の厚さを実現できます。層の厚さに影響を与えるパラメータは次のとおりです。

- ノズルから基板までの距離
- アブレーションの出力
- プリント速度

機器同梱・付属品

すべての標準VSP-P1システムには、VSP-G1ナノ粒子ジェネレーターと、システムの動作に必要なすべてのコンポーネント（例：Bronkhorstマスフローコントローラー、真空ポンプ、3種類のサイズのノズル、銅電極、実験パラメータを制御するユーザーインターフェイス）が含まれています。ガス供給と電源はお客様でご用意頂く必要があります。現場への設置とトレーニングはVSP-P1システムパッケージに含まれており、追加費用は発生しません。

ワークフロー

VSP-P1の操作ワークフローはシンプルで高速なプロセスです。まず、選択した材料の電極をP1に搭載されたVSP-G1のリアクターチャンバーに装着します。次に、ノズルと基板を真空チャンバー内に配置します。実験を開始するには、電力、フロー、パイパスフローの値を設定します。次に、適切なパターンスクリプトを選択し、チャンバーを真空状態にします。その後、システムはプリントを開始する準備が整います。実験前の準備プロセス全体には約30分かかります。必要な沈着時間は、ご希望の基板被覆率、パターン、および選択した電極のアブレーションレートによって異なります。通常の沈着時間は、数分または数秒（ドットや線、まばらな層などの）から数時間（ 1 cm^2 程の完全（密）な粒子層など）までの範囲です。粒子沈着が完了すると、システムはキャリアガスで約2分間フラッシュされます。真空チャンバーに残っているナノ粒子を除去するために、自動パーシクルが実行されます。実験終了後のプロセス全体には約15分かかります。

メンテナンスと清掃

使いやすいデザインとワークフローのVSP-P1は、清掃方法も簡単です。VSP-G1システムのリアクターヘッドの清掃は、リアクターチャンバー、電極ホルダーおよび電極をペーパータオルや綿棒で拭き取ってください。より綺麗に清掃するため、一般的な実験用溶剤（水、エタノール、イソプロパノール、アセトンなど）を使用して拭くことをお勧めします。電極材料を変更する際は、必ず清掃を行ってください。そうでない場合でも、良好な結果を得るためには、リアクターヘッドを定期的に清掃することをお勧めします。詰まりを防ぐには、一般的な実験用溶剤と超音波処理を使用してノズルを定期的に洗浄することもお勧めします。最後に、VSP-P1システムは、実験終了後にチャンバーを安全に開けることができるように、完全に自動化されたフラッシングプロトコルが実行されます。

05

カスタマーサポート

VSP-P1を購入頂いた後も、VSPARTICLEはお客様と密に連携します。システム納品設置はVSPARTICLEのエンジニアが立会い、ユーザーに必要なトレーニングも実施します。納品とトレーニングが完了した後も技術サポートを継続し、特にプロジェクトの初期段階で起こる可能性の高いトラブルにも対応します。お客様に当社のテクノロジーを最大限ご活用頂くため、私たちはいつもお客様との緊密な連携を維持するよう努めています。専門知識を提供し、常にお客様のニーズに耳を傾けることで、VSPARTICLEはイノベーションを促進し、共同開発の概念を奨励しています。

無料設置立会

無料トレーニング

2年間の保証

5年間のソフトウェアアップデート

設置1年後は点検・メンテナンス無料

05

仕様

技術仕様

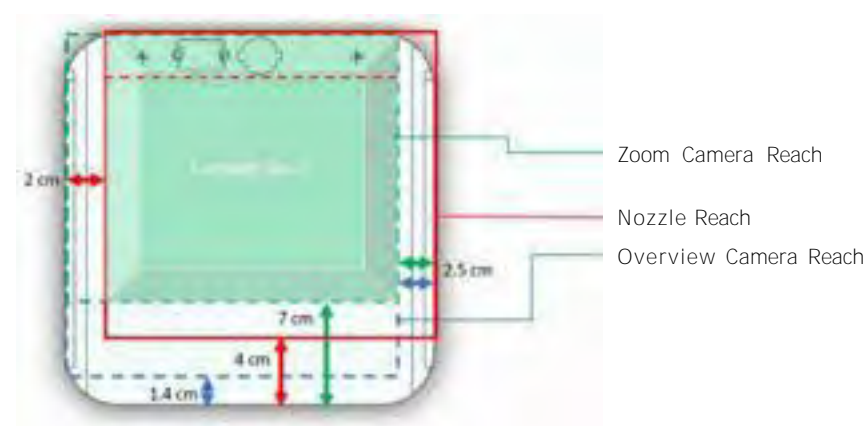
| | |
|----------|---|
| ガスインレット | 6 mmチューブ (SERTO継手付) |
| ガスアウトレット | NW16KF または 10 mm Swagelok継手 |
| 寸法 | 147 x 90 x 70 cm |
| 重量 | 約 220 kg |
| 電源 | 200 - 240 VAC <small>(お住まいの国で使用可能な電源コードが付属します)</small> |
| 最大消費電力 | 1.85 kW |
| 要求設備 | ラボ換気システムへのアクセス クリーンルーム内に設置する必要はありません |

操作条件など

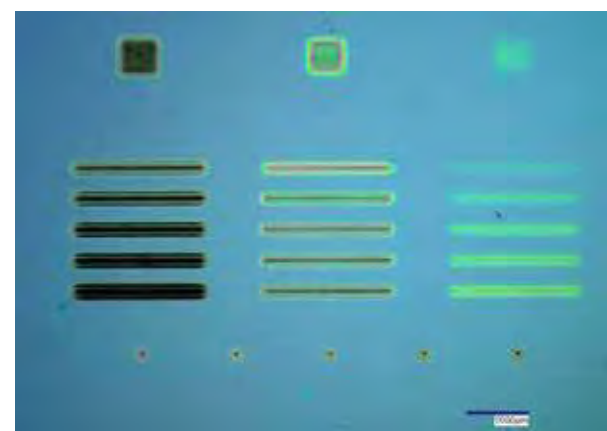
| | |
|---------|--|
| 粒子生成レート | 0.01 - 100 mg/h (電極材料に依存) |
| 一次粒子径 | 1 - 20 nm |
| 動作環境 | 常温、低真空 (0.2 mbar - 1 mbar) |
| 使用可能なガス | ArまたはN ₂ (純度5.0 (99.999 %以上) 推奨) O ₂ やH ₂ などの反応性ガスの使用可否はVSPARTICLEと協議の上で判断 |

| | |
|----------|--------------------------|
| 材質 | あらゆる導電性材料および半導電性材料 |
| 基板サイズ | 最大 20 x 20 cm |
| 最大プリント範囲 | 15 x 15 cm |
| 層の厚さ | まばらな凝集体 (100 nm) から数µmまで |
| 層の形態 | ナノ多孔質 |
| スポットサイズ | 100 µm - 1 cm |
| 位置精度 | 10 µm |

| Nozzle type | Bore size | Flow rate (Ar) | Chamber pressure (Ar) |
|-------------|-----------|----------------|-----------------------|
| 004 | 0.1 mm | < 0.08 slpm | 0.1 - 0.2 mbar |
| 054 | 0.2 mm | 0.2 - 0.3 slpm | 0.3 - 0.4 mbar |
| 125 | 0.35 mm | 0.8 - 0.9 slpm | 0.7 - 0.8 mbar |

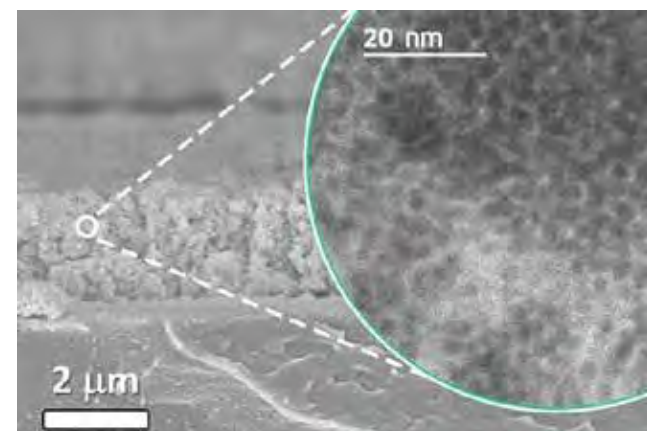


タングステン



Si/SiO₂上への異なる形状でのWプリント
3列それぞれの5本の線は重ねてプリントされており、上から順に2パス、4パス、6パス、8パス、10パスです。また各列でプリント速度(基板ステージの移動速度)が異なり、左側ほどゆっくりとプリントされています。

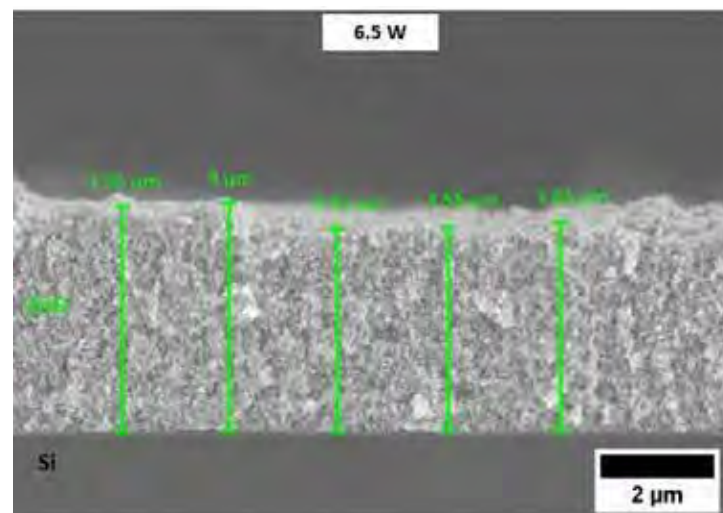
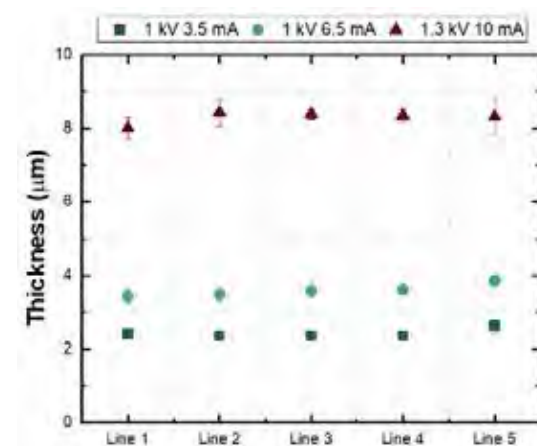
ナフイオン膜への酸化イリジウムコーティング



出展: Dutch institute for Fundamental Energy Research (DIFFER)
VSP-P1ナノプリンターを使用して塗布されたナフイオン膜上のIrO_xコーティングの断面TEM像。拡大SEM像には、比表面積が大きなナノ多孔性IrO_x材料が示されています。

酸化亜鉛関連

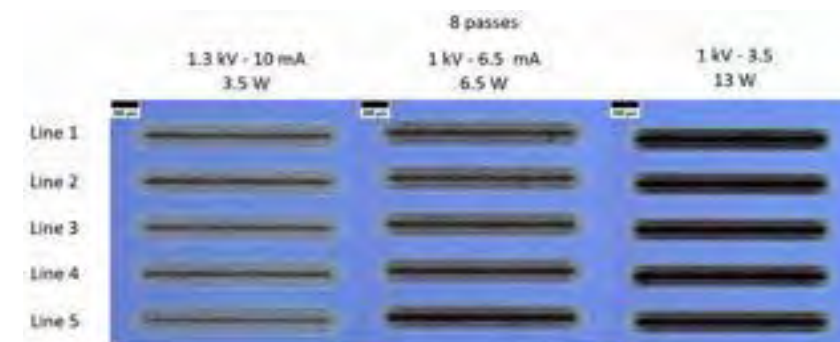
ZnOラインのプリント特性 ラインの再現性



酸化亜鉛関連

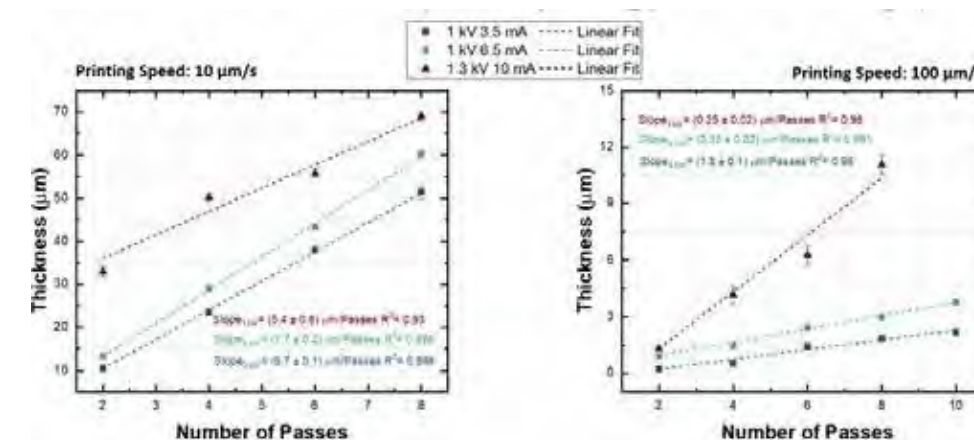
ZnOラインのプリント特性

- 異なる電力出力での5本の線をプリント
- 各ライン8パスでの重ねプリント
- サンプルを線の中心で切断
- SEMで断面を観察し線の厚みを測定

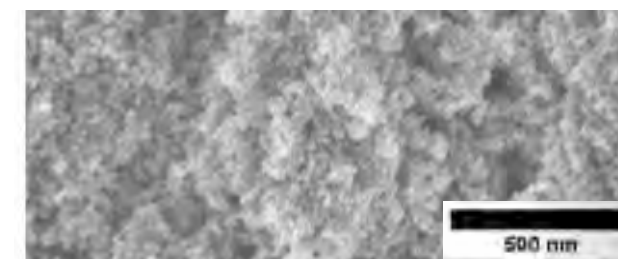


ZnOラインのプリント特性

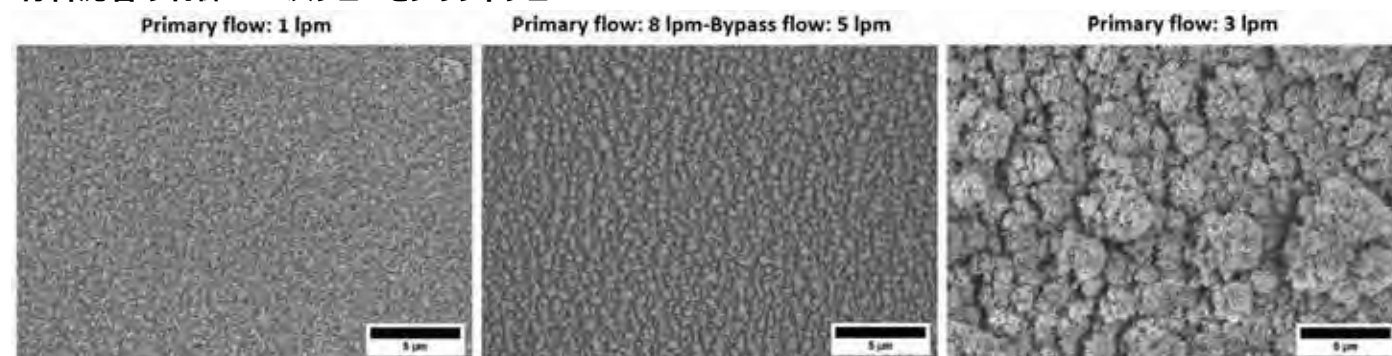
パス回数、スパーク出力、プリント速度をパラメータとして線の厚みを制御



ナノ多孔質層全体にわたるナノ粒子の分布を示すSEM断面



材料沈着の制御：一次フローとプリントフロー



- 材料の分布は、G1 (プライマリフロー) でのフローとノズルプリンターに到達するフローを調整することで調整できます。
- 一次フローもナノ粒子のサイズに大きな役割を果たします
- 一次フローとノズルに到達するフローの両方が、ナノ多孔質層の空隙率の調整に重要です。

基板

(最大 15x15cm)

ガスセンサー

- Si/SiO₂
- 窒化ケイ素 (SiN_x)
- アルミナ (Al₂O₃)



その他

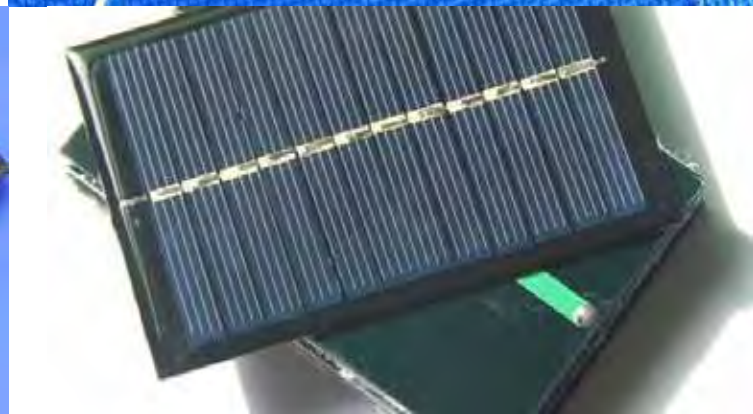
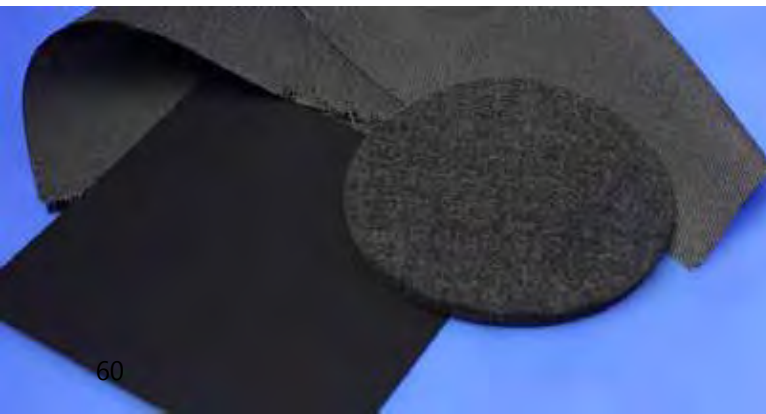
- 石英

電極触媒

- PTL (多くの場合、圧縮されたチタン粒子、圧縮されたチタン繊維、またはNiメッシュやNiフォームのような構造で作られています。ほぼAlスポンジに似ていますが、数百マイクロメートルに圧縮されています)
- 透明なCCM : Nafion、Sustanion、Piperion (+その他のイオンも含む)
- GDLs (ほとんどの場合、カーボンとグラファイトで作られています)
- CO₂電気分解: PTFE、PEEK、PET、PPタイプのフィルターのような紙 (一部の反応は疎水性であるため、導電性+触媒フィルムを適用する場合があります…)
- 電池: 銅箔とアルミ箔 (キッチンのアルミ箔と同じくらい薄い)
- 固体酸化物触媒: ZrO₂セラミック
- スーパーキャパシタ/コンデンサ: 金属箔(AlまたはCu)、PE(マイラー)およびPPフィルム、タンタルペレット
- 熱電材料: アルミナ、SiNi フィルム、SS および Cu 箔
- 太陽電池: Siウエハ、ガラス、フレキシブル基板 (PET、超薄型SS)

その他

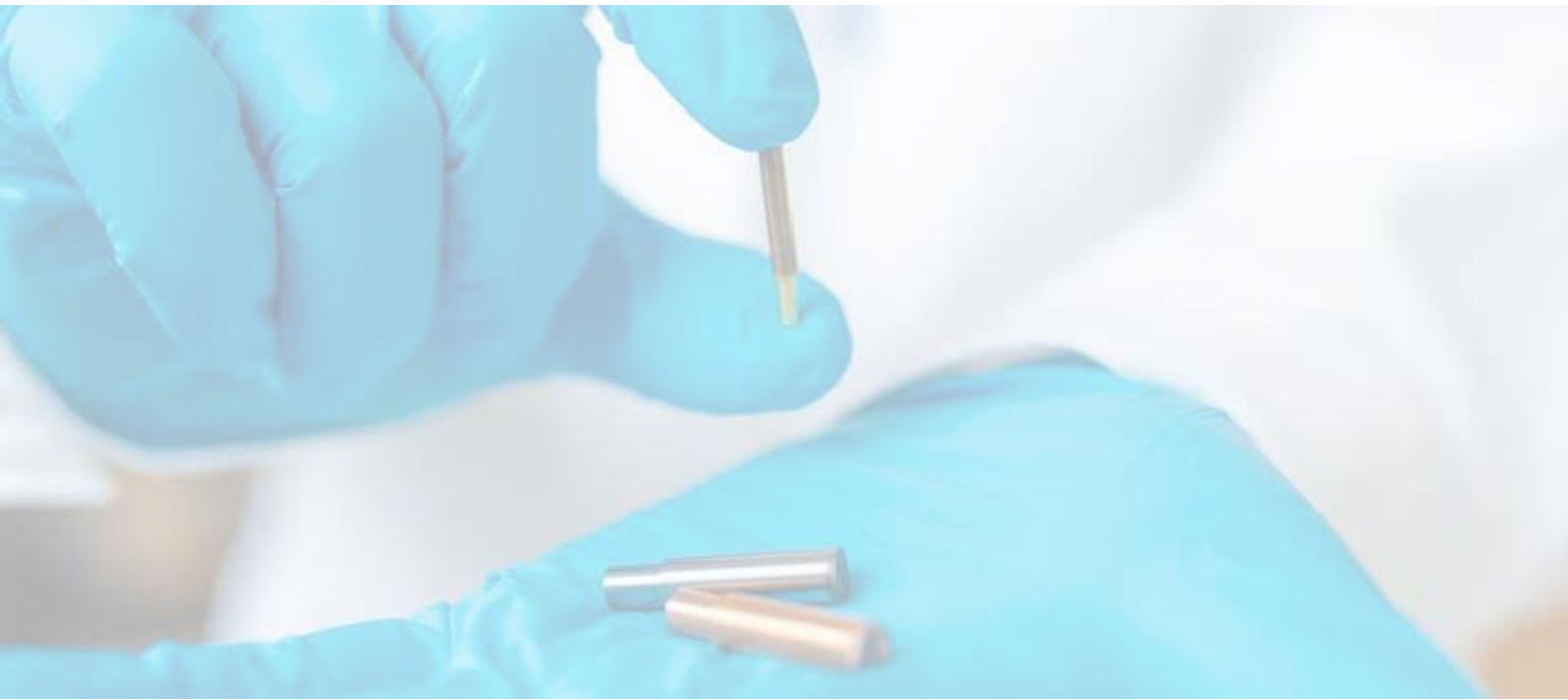
- 水電気分解に関する基礎研究: シリコンウエハ、100 nmの薄いSiCフィルム、数層の厚さのグラフェンシート、導電性酸化物コーティングされたスライドガラス (FTO、ITO)、鏡面研磨されたガラス状カーボン (非常に人気があります…)



06

VSP
電極





VSP電極

VSPARTICLEのテクノロジーは30種類以上の材料と互換性があります。すべての半導体および導電性材料、それらの組み合わせおよび合金は、VSP-G1ナノ粒子ジェネレーターおよび捕集装置(VSP-AシリーズおよびVSP-P1ナノプリンター)で使用できます。

プラグアンドプレイシステム

簡単なプラグアンドプレイシステムにより、わずか数分で1つの材料から次の材料に切り替えることができます。高度なエンジニアリングにより、ユーザーはさまざまな電極タイプを試したり、電極履歴を記録したりできます。

VSP電極は、さまざまな材料と動作モードに合わせて5つの異なる構成で作成できます。数字は電極の機能面の直径(3、6、または9)を示し、文字は中実(S)または中空(H)を示します。

電極の注文にはさまざまなオプションがあります。

Option 1



電極をVSPARTICLE/代理店に直接注文すると、4~5週間以内に受け取ることができます。

Option 2



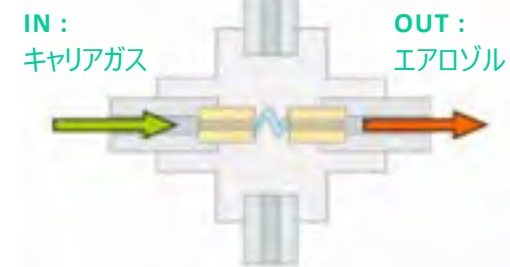
地元のサプライヤーに注文

Option 3



独自の電極を製造
VSPARTICLEが電極の設計案を提供することができます。

構成



クリーニング手順

材料の切り替えは迅速かつ簡単で、汚染を防ぐためVSP-G1 ナノ粒子発生装置のリアクターチャンバーを10分間清掃するだけです。

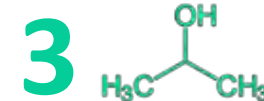


1 **ドラフト内でリアクターを分解する**
(濡れたティッシュを敷いた上で行ってください)



2 **すべての部分を水で洗浄する**

- 小さな金属ナノ粒子は、自然発火性または触媒活性がある可能性があります。水はそれらを不活性化します。
- 強力な酸化金属 (La, Ceなど) は水と反応する場合があります。乾いた布で拭いてください。



3 **2-プロパノール (IPA) ですべての部分をきれいにする**

詳細については、VSPARTICLEの健康と安全に関するパンフレットをご覧ください。

“

VSPARTICLE の使命は、イノベーションを共有し、進歩を推進し、持続可能な未来を共に形作ることです。コラボレーションと最先端技術を通じて、私たちは 1 世紀にわたる材料イノベーションを解き放ち、脱炭素社会への道を切り開くことを目指しています。私たちの願いは、無機材料の歴史に永続的な遺産を残し、将来の世代の進歩に大きな変化をもたらすことです。

”

高校生の頃、Aaike van Vugt は社会が化石燃料の使用をやめる必要がある場合の新しいエネルギーシステムについてすでに考えていました。

デルフト工科大学在学中、彼は化石燃料から脱却するために先端材料の分野で革新の規模とスピードが必要であることを認識しました。

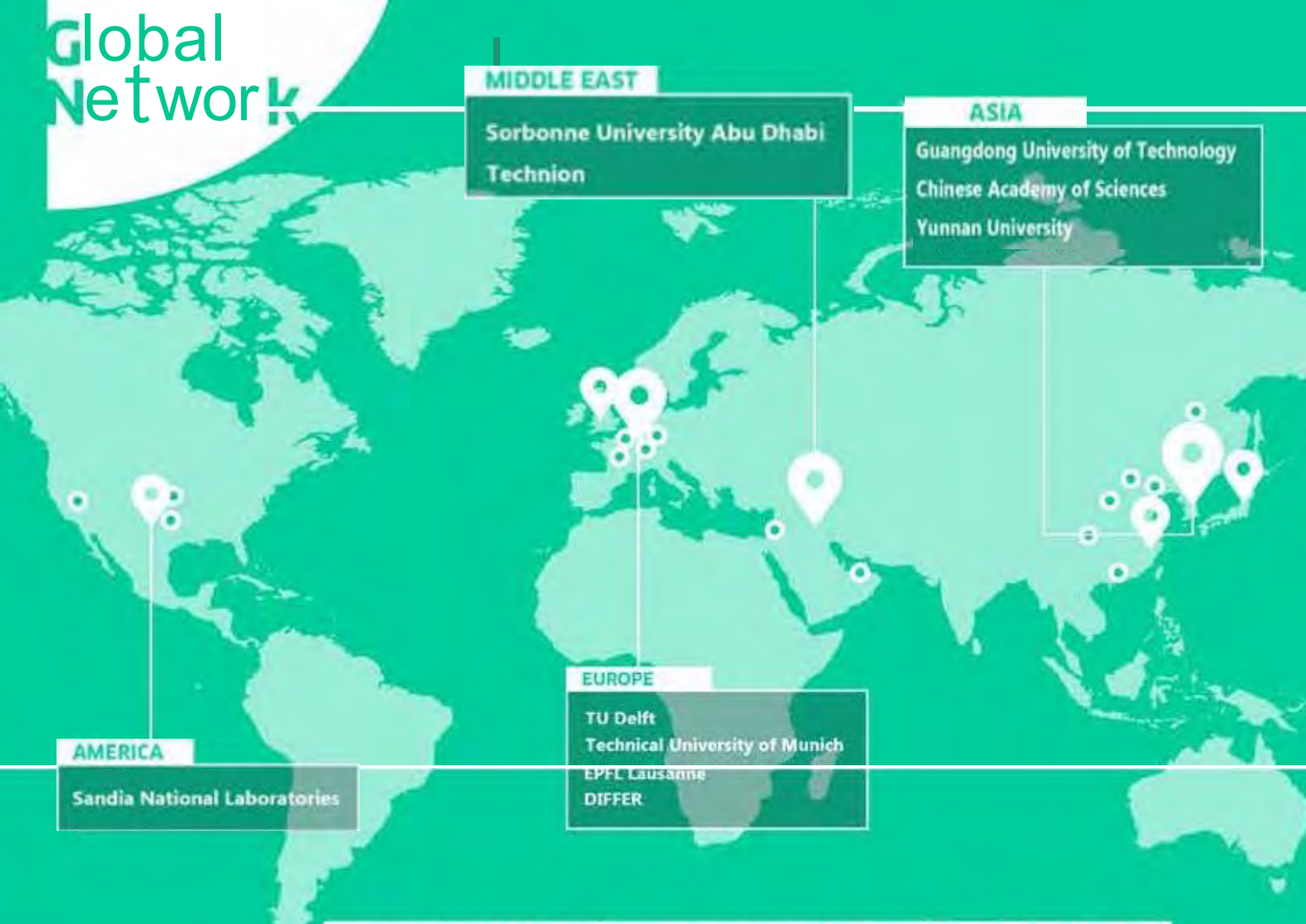
大学の最終学年の間に、Aaike は明確な目標を念頭に置いて VSPARTICLE を共同設立しました。今後 10 年間で 1 世紀にわたる材料イノベーションを実現します。

VSPARTICLE は、デルフト工科大学で開発された独自の技術から始まりましたが、現在はそれを現代の急激に進化する技術のほとんど（ロボット工学、AI、ビッグデータなど）と組み合わせています。Aaike は、2019 年にマテリアル分野への貢献が Forbes に認められました。

AAIKE VAN VUGT

VSPARTICLE CEO・共同創設者





| | | |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| DISTRIBUTORS 7 | CUSTOMERS 45+ | NORTH AMERICA |
| | CITIES 70+ | SOUTH AMERICA |
| | | AFRICA |
| | | ASIA |
| | | EUROPE |
| | | MIDDLE EAST |






VSParticle

Is present on 6 continents with academic users, research institutes and scientific collaborations.

※ 仕様は予告なく変更する場合がございます。

Dylec 東京ダイレック株式会社

東京本社 〒160-0014 東京都新宿区内藤町1 内藤町ビルディング
TEL 03-3355-3632 FAX 03-3353-6895 (代表)
TEL 03-5367-0891 FAX 03-5367-0892 (営業部)

TOKYO DYLEC CORP.

西日本営業所 〒601-8027 京都市南区東九条中御霊町53-4-4F
TEL 075-672-3266 FAX 075-672-3276