



ジャーナル (/publications) 本 (/books)

キーワード



高度な検索 (/search/select5)

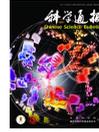
ログイン 登録 (/loginController/ParseToRegister)



中国の科学速報 (/publisher/scp/journal/CSB?slug=abstracts&journalBaselId=fa4f20...)

PDFをダウンロード

中国の科学情報、第64巻、第26号 (/publisher/CSB/journal/CSB/64/26?slug=browse&journalBaselId=fa4f2068f90342bec8fc0dbe220f099) ; 2689-2702 (2019) https://doi.org/10.1360/TB-2019-0060



(/publisher/ slug=abstra

ソリューション処理可能なGO / rGO : スマート情報デバイスでの準備、機能化、自己組織化、およびアプリケーション



魏趙^{1,2}、ホンタオトール²、Shasha Wang²、凌海謝^{2,*}、魏黄^{2,3}

+ より詳しい情報

2019年5月16日 受領 2019年7月24日 受理 2019年8月26日 公開

< 前 (/doi/10.1360/TB-2019-0124)

共有

評価

概要 全文 チャート 補足 関連している

概要

ナノおよびSPを含む1原子厚の平面シートから成るメソスコピック分子の一種として、グラフェン、²非常に高い結晶および電子品質を備えた結合炭素構造は、階層的に異なる物理的および化学的特性を示し、材料科学の分野で急速に注目を集めているスターとして浮上しています。グラフェンは、その優れた特性により、科学技術の多くの分野で大きな懸念を引き起こしています。これらの特性には、並外れた機械的性能、高い比表面積、および電子伝達能力が含まれます。これらのユニークな物理化学的特性は、グラフェンが情報デバイスの分野で新しいアプローチと重要な改善を提供する大きな可能性を秘めていることを示唆しています。近年、グラフェンおよび関連材料に焦点を当てた多くのレビューが発表されています。さらに、グラフェン関連材料に基づく情報デバイスに特に重点を置いたいくつかのレビューが報告されています。グラフェン研究の特定の分野の1つは、酸化グラフェン (GO) と還元型酸化グラフェン (rGO) を扱っています。GOは、化学的または熱光還元プロセスによるグラフェン合成の前駆体と見なすことができます。GOは、酸化グラファイトの単層で構成されており、通常、酸化によるグラファイトの化学処理と、それに続く水または適切な有機溶媒への分散と剥離によって生成されます。その構造に関しては、何年にもわたっていくつかの構造モデルが提案されてきました。これらは、GOにさまざまな酸素官能基が存在することを前提としています。酸素官能基は、ほとんどが基底面のヒドロキシル基とエポキシ基の形であり、シートの端に少量のカルボキシル、カルボニル、フェノール、ラクトン、およびキノンがあることが確認されています。酸化グラフェンの化学的還元は、商業用途向けのグラフェンの大規模生産に向けた有望なルートです。官能化グラフェンの電気伝導率は、純粋なグラフェンと比較して大幅に減少することが観察されています。さらに、共有結合および非共有結合技術によって調製された官能化グラフェンの表面積は、フレークグラファイトの破壊的な化学酸化とそれに続く超音波処理により大幅に減少します。機能化と化学還元。ただし、グラフェンの固有の特性を補完するものとして、GOおよびrGOからの機能化またはハイブリダイゼーションは、情報デバイスにおけるこれらの材料の性能を大幅に向上させることができます。グラフェンの機能化は、共有結合および非共有結合による修飾技術によって実行できます。両方の場合において、酸化グラフェンの表面改質と化学的選択的還元を行って、溶液処理可能なグラフェン関連材料を得ています。共有結合および非共有結合の両方の修飾技術が、溶液処理可能なグラフェン関連材料の調製に非常に効果的であることが見出された。このレビューでは、階層化学の観点から、GO / rGO関連の化学反応、機能化ルート、および自己組織化法

- 機能化
- 溶液処理可能
- インテリジェント情報デバイス
- 自己組織化
- 書記素

提出とレビュー

https://www.sciengine.com

(/user_settings/email)

引用	Altmetric
----	-----------

Eメール

書き出す

おすすめ

ZnSe [DETA] 0.5ハイブリートの分解によるナノの酸化グラフェンの型破鉛化と機能化
Liang Xu et al.、 SCIEI Materials、 2020

CVD支援グラフェンおよびフェンシートの電氣的特誘起調整
Deka et al.、 Journal of Science & Technology、

高速フェムト秒レーザーソグラフィと異方性光酸化グラフェンの還元
Tingting Zou et al.、 Liq Advanced Manufacturing

グラフェンベースの材料
Dan Li et al.、 Science

グラフェンベースのソフレーザー製造
Bing Han et al.、 Jour Semiconductors、 2019

Brufsky A et al.、 Targ Oncology、 2021

搭載 TREND MD

の開発について概説します。薄膜技術に関するナノシートの分散性と相互作用をここに要約して、GO / rGOインクの処方、フィルム形成、およびナノ構造をよりよく理解します。最後に、情報ディスプレイなどのスマート情報デバイスにおけるGO / rGO関連の可溶性処理材料のアプリケーション

序章

グラフェンは、単一の原子層の厚さを持つ最初の2次元ナノ材料として、科学界で大きな研究ブームを引き起こしました。^[1]グラフェンの π 共役系は、優れた機械的、熱的、電気的特性を備えており、科学界における重要な理論的および実験的研究内容の一つになっています。^[2-9]これは主にその超高比表面積（単層グラフェンの理論値）に反映されています $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ^[1]、卓越した電子輸送能力（キャリア移動度はを超える可能性があります $200000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ）^[8,9]、驚くべき柔軟性と機械的強度^[10]そして優れた熱伝導率^[11]。これらのユニークな物理的および化学的特性は、インテリジェント情報デバイスの分野でのアプリケーションの可能性を示しています^[12-14]。グラフェンの基本構造を参照してください。図1

グラフェンの調製方法には、主に物理的剥離（機械的剥離法）、エピタキシャル成長法、化学蒸着法、化学レドックス法（主に酸化グラファイト還元法）などがあります。化学レドックス法はコストが最も低く、非常に工業化の見通しがあります。強酸と強酸化剤を使用して天然グラファイトを酸化しても、得られた酸化グラファイト（酸化グラファイト）は依然として層状の3次元構造です。シートに酸素含有官能基を導入すると、層の間隔が広がり、グラファイト層が弱くなります。それらの間の相互作用、単層または数層の酸化グラフェン（GO）は、超音波などの分散法によって取得できます。次に、GOを物理的または化学的方法で還元して、グラフェンのような構造を持つ還元型酸化グラフェン（還元型グラフェン）を取得します。酸化物、rGO）^[15]GO / rGOの機械的強度と電子移動度はグラフェンよりも低いですが、伝導率の調整、化学活性の制御、デバイスの溶液処理などの独自の利点があり、インテリジェントな情報デバイスでますます広く使用されています。応用。

1 GO / rGO準備と特性

1.1 GO準備

GOはグラフェンのユニークなブランチであり、還元によるグラフェン調製の前駆体と見なすことができます。GOの合成方法と化学構造の歴史的な変化については、Dreyer et al.によるレビューを参照してください。^[6,16,17]現在最も成熟している方法は、過マンガン酸カリウムや濃硫酸などの強力な酸化剤を主に使用してグラファイトと酸化還元反応を起こすハーマーズ法です。酸素官能基は、グラファイトシート間の距離を広げ、層間の結合力を低下させます。GOは溶媒中の超音波分散後に得られます。2015年、Gaoの研究グループ^[18]過マンガン酸カリウムの代わりに鉄カリウムを使用してGOを調製する、新しく改良された方法が提案されています。これにより、爆発性薬物の使用やマンガンイオン汚染を回避できます。最近、Pei et al.^[19]より環境に優しく環境に優しい電気化学的方法を使用して、実用的な価値のあるGOも準備されました。

1.2 GOの表現

両方GOグラフェンは、二次元のカーボンナノ材料であるが、それらの構造は明らかに異なっている。グラフェンのみSP²で構成されている²GOの炭素構造は、SP²の大きい程度有している、混成炭素原子³ハイブリダイゼーションシリーズがあり、その接続に酸素含有官能基の^[16,17]GOの構造と組成の特性評価の一般的な方法には、主にフーリエ変換赤外分光法（FT-IR）、X線光電子分光法（XPS）、ラマン分光法、X線回折（XRD）などがあります。

図2 (a) GOのFT-IRスペクトルの主なピーク位置に対応する官能基がリストされています。これらの酸素含有基の存在は、グラファイトが酸化されていることを示し、極性基、特に表面ヒドロキシル基の存在は、GOを容易にします水分子と水素結合を形成します。これが、酸化グラファイトとGOの親水性が優れている理由です。 1623 cm^{-1} これは、GO層間に吸着された水の変形振動であり、少量の水分子がGOに残っていることを示しています。これは、GOが完全に乾燥しにくいことも示しています。XPSは、上の元素の組成と含有量を検出できます。材料の表面であり、GO酸素含有官能基含有量のGOを定量的に特徴付けることができます。図2 (b) GOのXPS。GOのC 1sピークは、主に次の部分で構成されています。C=C / C-C（ 284.9 eV ）、C-O（ヒドロキシルおよびエポキシ、 286.9 eV ）、C=O（カルボニル、 287.8 eV ）、そして少量のO-C=O（カルボキシル、 289.5 eV ）^[20]。図2 (c) に示すラマンスペクトルは、GOの構造と電子特性を特徴づけることができます。DピークとGピークは、GOの典型的なラマンスペクトルピークです。一般に、GOのDピークは 1350 cm^{-1} 近くでは、グラフェンシート構造の欠陥に対応しています。Gピーク位置は 1600 cm^{-1} 近くでは、GOの対称性と順序を反映するグラファイト E_{2g} フォノン平面振動に由来します。^[21]図2 (d) はGOのXRDパターンであり、グラファイトのXRD特性回折ピークは2にあります。 $\theta = 26^\circ$ 、酸化グラファイトは $2\theta = 26^\circ$ にはまだ強いピークがあります $\theta = 14^\circ$ 酸化グラファイトの特徴的な回折ピークが現れ、酸化グラファイトが不完全であることを示しています。超音波処理後のGOは2です。 $\theta = 26^\circ$ での特徴的なピーク強度は大幅に減少するか、消失することさえあります。 $\theta = 14^\circ$ 特徴的なピークは、この時点で小角度方向に移動します 2θ GOの層間間隔が酸化グラファイトよりも大きいため約 11° であり、二次元材料の構造特性を持っています。

Click



現在、GOの正確な原子および電子構造はまだ決定的ではありません。^[22-24]、一般的に受け入れられているLerf-Klinowski非化学量論的アモルファスモデル。これは、多数のヒドロキシル (-OH)、カルボキシル (-COOH)、カルボニル (C=O)、エポキシ基 (COC) およびその他の酸素含有物を特徴としています。官能基^[29]の中で、ヒドロキシル基とエポキシ基は主にシートの中央で接続されており、カルボキシル基とカルボニル基は主にシートの端で修飾されています。

1.3 GOの性質

ドーパされたグラフェンが異なれば、光電特性も異なります^[26]別の酸素含有官能基は、GOに異なる光学および電気的特性及び化学的特性をもたらすGO酸素含有基は、しばしば、製造方法、通常のMnOと変わる。⁴⁻GOの酸化は、以上のカルボキシル基を含有し、のClO₃酸化によって得られたGOには、より多くのヒドロキシル基とエポキシ基が含まれています^[27,28]一般的に、GOの電子伝導性が強く、その化学構造に依存する、または構造障害の程度は、によって引き起こされる、そのSP³炭素部分^[29]。絶縁に近い材料として、GOの導電率は2つの側面で現れます：低酸化GOは電子/正孔伝導性を示しますが、高酸化GOは混合伝導挙動（電子/正孔伝導とプロトン伝導）を示します。導電率）、これは明らかに水分の影響を受けます。高度に酸化されたGOが水不足の場合、主に電子/正孔によって伝導されます。水分が高い場合、主にプロトンによって伝導されます。特に重要なのは、エポキシ基のGOの伝導率；それは、バンドギャップ、層間の距離、および水のインターカレーションプロセスに影響を与え、電子と正孔の伝導の障害になりますが、同時にプロトン伝導のアクティブサイトでもあります。^[30]。湿度が100%の環境では、GOのプロトン伝導度は次のように高くなる可能性があります。10⁻² S cm⁻¹、バルクをはるかに超える酸化グラファイト (10⁻⁴ S cm⁻¹) そして塩酸でプロトン化された酸化グラフェン (10⁻⁵ S cm⁻¹)、これは主に、GO上の-O、-OH、-COOHなどの官能基がプロトンを引き付け、水膜に沿って形成された水素結合ネットワークを介してプロトンを移動させることができるためです。^[31]。この微妙な電気的特性は、インテリジェント情報デバイスの分野におけるGOのアプリケーションの基礎です。

1.4 rGO準備

GO自体の電子伝導性は非常に低く、良好な導電性rGOを得るには還元処理が必要です。一般的な還元方法には、主に化学的還元、光還元、熱還元、電気化学的還元などがあります。^[15,32]最も一般的に使用される還元方法は化学還元です。使用される還元剤には、主にハロゲン化酸、水素化物、アミノ還元剤、金属酸/塩基、ヒドロキシル還元剤、硫化物、および生物学的還元剤が含まれます。詳細Pumeraの関連レビューを参照してください。グループ^[33]GO、rGO、グラフェンの関係を見る画像3。

近年、レーザー還元によるrGOとその誘導体の調製に関する研究も増えています。^[34,35]。アジャヤン研究グループ^[36]電解質として含水GO膜を使用し、レーザー還元によりrGO電極を得ることができ、マイクロコンデンサーの機能を容易に実現できます。

LeiResearchGroup^[37]レーザーによるGOの低減に及ぼす波長の影響を調べたところ、波長が488 nmレーザーは低出力で効果を発揮することができ、その還元プロセスは光化学的還元の法則に準拠しています。637 nmレーザーを復元するには、特定の出力しきい値よりも大きくする必要があります。ツアーのグループ^[38]複数のレーザーパルス誘導法を使用して、さまざまな材料の表面に高導電性グラフェンパターンを作成し、高融点ポリマー（架橋熱硬化性プラスチックなど）は低融点でグラフェンに変換される傾向があることを指摘しました。ポイントポリマー（ビニルポリマーなど）は、解重合およびアブレーションされる傾向があります。ZergiotiResearchGroup^[39]波長を使用する532 nmピコ秒レーザーパルスが連続的に石英ウエハ上GO膜を照射し、RGOの調製および転送のSi / SiO₂基板は数秒で実現します。

1.5 rGOの性質

1.5.1rGOの導電率

rGO材料の固有の導電率は、主に還元の程度によって決まります。還元の程度が高いほど、導電率が高くなり、フィルムの二乗抵抗が低くなります。さまざまな還元方法で得られるrGOの導電率は大きく異なります。Liet al.^[40]導電率を準備するためにヒドラジン還元剤を使用してください7200 S m⁻¹水溶性rGO;ヒヨオン研究グループ^[41]40°CでHI / AcOHで還元40時間導電率は30400 S m⁻¹rGO; Shiグループ^[42]また、弱酸化性のGOを原料とし、ヨウ化水素酸で還元して最大導電率を実現しています。40500 S m⁻¹導電性の高いグラフェンは、これまでに報告された最高値です。

1.5.2rGOの化学選択性

rGOの還元度は、導電率、触媒活性、半導体エネルギーバンド構造などの特性にある程度影響します。初期の研究では、GOの還元度（またはグラフェンの酸化度）は主に調整によって決定されていました。反応温度または反応時間を制御するには、その精度と再現性は満足のいくものではなく、rGOの特性の詳細な研究を大幅に制限します。^[43,44]実際、GOによって運ばれるさまざまな酸素含有官能基の反応性は一貫しておらず、この違いを使用して1つまたは複数の官能基と選択的に反応し、酸化グラフェン (CrGO) の化学選択的還元を得ることができます。^[45]エチルメルカプタン-三塩化アルミニウム (EtSH-AlCl₃) 還元剤を使用して、GOのヒドロキシル基を選択的に除去します。Xu et al.^[43]エタノール、エチレングリコール、グリセロール、その他の還元剤などのアルコール溶媒を使用して、GOのエポキシ官能基を選択的に除去しますが、他の官能基は保持されます。Chenの研究グループ^[46]リン酸とリン酸二水素ナトリウムの相乗的な脱水効果を使用して、電気化学的性能を向上させるカルボニルに富むrGOを調製しました。Huangの研究グループ^[47]硝酸銀と炭酸カリウムからなる銀塩接触炭酸試薬は、CrGOの調製に使用されます。図4

(a) に示すように、GOのカルボキシル基を除去する一方で、多数の酸素含有官能基が選択的に保持されます。さらに、ヒンダードアミン材料であるテトラメチルピペリジノール (TMP) が触媒として使用され、室温雰囲気下での紫外線。GOを回復する方法、例えば図4 (B) に示すように、選択的に除去することも可能であるC=O (カルボキシルおよびカルボニル) SP²にGOヒドロキシルおよびエポキシ基を保持しながら、^[48]

GO官能基を選択的に除去するこれらの方法は、還元を程度を効果的に制御し、特定の官能基を持つグラフェン誘導体を取得し、グラフェンベースの材料の使用範囲を拡大するのに役立ちます。新しい環境に優しい選択的還元法の開発rGOの将来の応用は重要な研究の方向性です。

1.5.3 rGOの溶媒分散性

溶液処理は、電子情報デバイスの低コストの工業生産の前提条件の1つですが、固有のグラフェンシート間には強いファンデルワールス力があり、凝集が非常に簡単で、水や一般的な物質に分散するのが困難です。有機溶媒; GO中水への分散は良好ですが、他の有機溶媒への分散が悪く、導電性が低いいため、光電子情報デバイスへのグラフェン材料の適用が大幅に制限されます。したがって、グラフェン材料の光電子特性を維持しながら、それらを与える必要があります。良好な溶媒分散性^[13,49,50]

rGOにさまざまな有機官能基を導入することで、さまざまな溶媒に分散させることができます。官能基を導入したrGOは、通常、単一の水分散性または有機分散性しかありませんが、実際のアプリケーションでは、さまざまな種類の試薬に遭遇することがよくあります。準備は同時です水有機相分散性を備えたrGO材料 (つまり両親媒性rGO) は実用的に重要です。Huangの研究グループ^[51]GOと5,6-ジアミノ-2,3-ジシアノピラジン有機小分子を官能化して複素環を形成し、次にヒドラジンで還元します。共有結合の官能化によって形成された複素環は、還元後のGOの還元を防ぎます。、調製した両親媒性グラフェン材料 (AG) を水、メタノール、N,N-ジメチルホルムアミドなどの一般的な溶媒では、凝固は4か月間発生しません。

2 GO / rGO機能化

2.1 共有結合による機能化

有機合成を主な方法とするグラフェンの共有結合による官能基化は、その用途を拡大するための重要な戦略です。^[52]共有結合は、主に他の分子とグラフェンベースの材料上の酸素含有官能基との反応による安定した共有結合の形成を指します。したがって、共有結合は主にGO用であり、rGOは比較的新しいです。GOシートのエッジ官能化は一般的に使用されます。カルボキシル基。表面官能基化は一般にヒドロキシル基とエポキシ基を使用します。反応メカニズムの観点から、GO共有結合官能基化は、求核置換、求電子置換、重縮合反応、付加反応などの観点から、および反応対象の観点から分類できます。、それは酸素官能基 (カルボキシル、ヒドロキシル、エポキシ、カルボニルなど) の官能化と炭素骨格の官能化を含むことに分けることができます。詳細については関連するレビューレポートを参照してください。^[53-55]

カルボキシル官能化グラフェンシートは、エッジに多数の疎水性基が結合しているため、溶媒の分散性が向上し、オプトエレクトロニクスデバイス、情報材料、バイオセンシングなどの分野で幅広い応用が見込まれます。^[56]黄研究グループ^[57]カルボキシル活性剤としてポリリン酸 (PPA) を使用し、*o*-ヒドロキシアニリンをGOのカルボキシル基と縮合させて、ベンゾオキサゾール (BO-GO) とベンズイミダゾール (BI-GO) 誘導体を共有結合させたGOを調製しました。アンチスタッキング効果と優れたサイクル安定性を備えた高比容量材料。その反応経路は次のとおりです。図5 (a) に示すように、その後、GOのカルボキシル基を*o*-メルカプトアニリンで共有結合させ、ベンゾチアゾールで共有結合させたGO誘導体を調製しました。高温焼結後、NとSを共ドープした高効率リチウム電池電極材料、その反応経路は次のとおりです。図5(b)所示。^[58]

2.2 GO / rGO非共有機能化

共有結合と比較して、非共有結合はGO / rGO炭素平面構造への損傷が少なく、その固有の特性がよりよく保存され、溶媒の分散性が向上し、操作手順が簡単です。したがって、近年、非共有結合は共有結合官能化グラフェン^[59,60]人々からますます注目を集めています。

チョン研究グループ^[61]非共有結合で官能化されたrGOの場合、負に帯電したポルフィリン誘導体 (TPP-SO₃Na) は、正に帯電した (TPP-N (CH₃)₃) よりも分散性が高いことがわかります。^[62]イオン液体によるGOの官能化を調べたところ、アルカリ性環境での静電効果により単層ナノシートの凝集がはじかれ、安定したGO-IL分散液 (GO-IL) が得られた。(分散Liのグループ^[63]rGOでのポリエチレンオキシド (PEO) とポリビニルアルコール (PVA) の非共有相互作用が研究され、PEOとPVAはrGOと特別に強い親和性を持ち、元のπ-πを通過することさえできることがわかりました。rGOに吸着した蛍光物質1-ピレン酪酸 (PB) の相互作用が脱着するため、rGOによって消光された蛍光スペクトルのピークが再び現れます。

3 GO / rGO自己組織化

ビルディングユニットとして2次元ナノシートを使用したグラフェンのマイクロ制御可能な自己組織化は、グラフェンベースの材料のアプリケーションにおける研究のホットスポットです。^[64]実際、異なる方法で得られたGO / rGOラメラ構造の自己組織化プロセスも異なります。直接高温アニーリングは、GOの急速な水分損失と収縮を引き起こし、不規則なグラフェンナノスフェアに自己組

織化することがよくあります。^[65-66]凝固浴と組み合わせた湿式紡糸によって処理されたGO / rGOは、しばしば自己組織化して一次元の秩序あるナノファイバー構造になります^[67-69]。溶媒誘起界面自己組織化法を蒸発させることによって得られたラメラ構造は、一般に、互いに積み重ねられた二次元薄膜構造を示します。^[70-72] GO / rGOを混合し、水素結合またはイオン結合で材料を接続することにより、3次元グラフェン構造を簡単に得ることができます。^[73-75]

3.1 GO / rGO一次元の自己組織化と繊維

織られた一次元繊維構造は、ウェアラブル電子アプリケーション機器を実現するための最も実行可能なソリューションの1つです。2011年、Gaoの研究グループ^[76-77]GO溶液の液晶特性を発見し、湿式紡糸法を使用して高濃度のGO液晶溶液を処理し、一貫性の高い内部繊維構造を取得します。還元後、巨視的なグラフェン繊維が得られます。特別な機器が必要、黄の研究グループ^[78]初期には、両親媒性ポリマー界面活性剤がソフトテンプレートとして使用され、水-テトラヒドロフラン逆多重堆積システムがGOナノシートを制御して圧着プロセスを完了し、さらに超長ナノファイバーにらせん状に巻かれていました。GOキラルナノファイバーの新しい調製方法を紹介します。急速に攪拌したP123溶液にGO溶液を滴下し、一定時間攪拌し続けることで、キラルナノファイバーを得ることができます。この方法は簡単です。そして、高収率で、実装が容易、とMOSに昇格することができます^[79]。多層カーボンチューブなど他の低次元材料のキラル繊維の自己組織化において、大きな応用可能性を秘めています。

3.2 GO / rGO二次元自己組織化と薄膜

グラフェンの完全な二次元シート構造は、巨視的なグラフェンベースのフィルムの効果的な準備と組み立てのための優れた基本単位を提供します。GOは優れた分散性を備えており、解法。

rGO分散液を直接使用して膜を形成するか、GO分散液を使用して膜を形成してから還元すると、両方の高導電性rGOフィルムを得ることができます。この点に関して多くの報告があります。^[40,70,80]しかし、高品質の薄膜電極は、材料自体が導電性であるだけでなく、薄膜構造の安定性と均一性を確保する必要もあります。画像6示されている、黄のグループ^[81]二次元自己組織化rGO膜の分子中の残留酸素含有官能基の問題を指して、「有効還元深さ」の概念を提案しました。実験と計算を組み合わせ、ヒドラジンによるGO還元の有効還元深さをおよそでした1.46 μm 、そして、高導電率多層積層二次元集合rGO薄膜電極を室温で作製した。

3.3 GO / rGO三次元自己組織化とゲル

三次元構造で組み立てられたグラフェンバルクフォームとエアロゲルは、多孔質構造と高い比表面積を持ち、低密度、高い機械的安定性、高い導電性を備えたグラフェンベースの材料の開発のためのプラットフォームを提供します^[82]GOシートは溶液中で静電反発力を示します。GOシート間の力は、水素結合または静電相互作用を使用して結合剤を追加し、2次元から3次元への自己組織化を実現することで制御できます。このタイプの結合剤主にはいくつかの親水性金属イオンまたはポリマー材料です。

2010年、王研究グループ^[83]PdやPtなどの貴金属イオンによって誘発される熱水アセンブリを使用して、3次元GOアセンブリの準備が報告されています。2018、朱の研究グループ^[83]バイオミネラルゼーションプロセスに着目して、酸化グラフェン-ポリ(アクリル酸)-アモルファス炭酸カルシウム(GO-PAA-ACC)で構成される、改造可能な自己修復およびリサイクルゲル複合材料が設計されました。HuangResearchGroup^[84]シンプルさ、有効性、経済性の概念に基づいて、疎水性分子フェロセンが結合剤として導入され、室温でGOの3次元自己組織化を実現しました。XRDの結果は、フェロセンとGOの間の π - π 相互作用を示しています。シートこの効果により、GOシート間の力を調整し、GOゲルの層間隔分布を制御できます。これは、グラフェンエネルギー貯蔵、薬物送達、センサー、およびアクチュエーターで潜在的な価値があります。

多次元構造アセンブリ戦略は、グラフェンの実用的な適用範囲を拡大し、溶媒処理されたGO / rGOの主な利点の1つでもあります。

4 GO / rGOインテリジェント情報デバイスへの応用

処理コストが低く、光電子特性を調整できるため、溶液処理可能なGO / rGOは、最も競争力のある光電子薄膜材料の1つであり、情報表示、情報ストレージ、ニューロモフィック人工シナプスなどのインテリジェント情報デバイスの分野で使用されています。広く。

4.1 情報表示装置

情報ディスプレイデバイスへのGO / rGOの応用は、主に電極、発光層、誘電体層の3つの部分に分けられます。

2008年に、Becerril等。^[85]電極rGO熱還元処理溶液を最初に調製さに基づいて ~ 1000 オーム平方抵抗 $\square 100^{-1}$ 透明電極(550 nm低い光透過率は80%)であり、rGO透明電極の開発可能性を証明しています。2014年、Liang et al。^[86]銀ナノワイヤー(AgNW)グリッドをガラス基板上に線材でコーティングし、GO溶液に浸し、乾燥させてGOコーティングされたAgNWグリッド構造を得、これを電極として使用して伸縮性ポリマー電極を作成しました。発光デバイス。黄研究グループ^[87]GO / rGO材料の類似した構造と異なる機能を利用して、高導電性rGOが透明電極と背面電極として使用され、絶縁GOが誘電体層です。図7示されている大面積ACエレクトロルミネッセンスデバイス(ACLELED)。従来のチタン酸バリウム(BaTiO_3)誘電体層デバイスと比較して、デバイスの全体的な厚さが薄くなり、性能は同等です。動作電圧が固定され、周波数が性能が向上し、従来の無機発光デバイスを上回りました。

た。その後、レンのグループ^[88]GO / rGO材料の調整可能な電気的特性を使用して、電極としてrGO、発光層として半還元GOを備えたフルカーボンフレキシブル発光トランジスタを製造しました。発光波長はゲートで調整できます。プールのフレネル効果は関連しています。

4.2情報ストレージデバイス

その非常に高い理論比表面積と優れた電気的特性により、情報ストレージにおけるGO / rGOのアプリケーションは徐々に増加しています。GOとその機能的派生物は強力な電荷トラップ機能を備えており、メモリデバイスの機能層としてよく使用されます。rGO固有のsp²ハイブリッド構造、結晶性及びグラフェンの優れた電気的特性を最大限に還元されているので、機能層であることに加えて、rGOも広くトライオード装置における電極材料とフローティングゲートとして用いられます。^[89]

情報メモリは、2電極ダイオード構造と3電極トランジスタ構造に簡単に分けることができます。2009年、Li et al.^[90,91]GOベースのダイオード構造メモリのメモリ性能に関する初期の研究。Chenのグループ^[92]トリフェニルアミンとポリメチンで共有結合的に修飾された酸化グラフェン機能層ポリマーメモリを準備しました。Huangの研究グループ^[93,94]GO中間層のダイオードメモリについて、システムは、アニーリング温度、厚さ、動作周波数、およびその他のパラメータの影響を調査しました。温度が上昇すると、デバイスのオンオフ比は徐々に低下します。熱処理温度が160°Cを超えると、デバイスのオンオフ比は0になります。中間層としてGOを備えたWORMダイオード抵抗ランダムアクセスメモリには、有意な温度依存効果その後、研究グループ^[48]立体触媒としてアミン物質tetramethylpiperidinol (TMP) のヒンタード用いて、GOは、室温及び大気圧環境下でのUV照射により還元し、そしてC=O (カルボキシルおよびカルボニル) SP²中のGOを選択的に除去し、およびヒドロキシル、エポキシを保持しました材料の溶媒分散性を確保するために、グループが追加されます。図8 (a) に示すように、この材料を活性層とするダイオードメモリの安定性が大幅に向上します。Huangの研究グループ^[42]有機化学反応の観点から、からなる銀塩触媒脱炭酸システムのAgNO₃およびK₂CO₃をしたGO上の酸素含有官能基の選択的還元と化学GOの還元、及び酸化グラフェン (CRGO) に適用します多数の酸素含有官能基が選択的に保持されるため、CrGOは有機相への分散性が高く、湿式処理によってトランジスタメモリの電荷蓄積層に適用するのに有益です。より大きい60 Vメモリウィンドウは103、スイッチ比は10³で、通常のGOデバイスよりも優れています。デバイス構造を参照してください。図8 (NS)。

機能層に加えて、Huangプロジェクトでは、電極材料としてrGOを使用し、P3HT : PCBM/バルクヘテロ接合を使用しています。^[95]やMOS₂ @ ZIF-8の構造材料^[96]機能層として、スイッチング比の高い (~10⁵) WORM型有機ダイオードメモリが得られます。デバイス構造は以下のとおりです。写真9示されているように、後で、GO / rGOの導電性/誘電性の多様性を考慮して、Huangのグループ^[97,98]rGOを電極、GOを中間層として、フルカーボンダイオードメモリを用意し、フィルム構造でもファイバー構造でも、rGO / GO / rGOダイオードデバイスは優れた情報記憶効果を発揮します。

4.3ニューロモルフィックデバイス

人工知能デバイスは現在、情報科学の研究ホットスポットです^[99,100]。脳のような機能に基づいて設計されたニューロモルフィックデバイスは、フォンノイマンボトルネックを突破し、消費電力と情報処理速度において従来のコンピューターシステムをはるかに上回ります。^[101-103]したがって、ニューロモルフィックポテンシャルを持つ材料もますます注目を集めています。^[104,105]GO / rGO材料の導電率は、電子透過とイオン透過の両方の影響を受けます。理論的には、タイミングと振幅の変調電圧を変えることで、生体神経シナプスと同様の導電率の重みの変化を実現でき、人間の脳をシミュレートして神経形態計算を完了します。^[106]。Wangグループ^[107,108]ゲート誘電体層としてGO、半導体層として酸化亜鉛インジウム (IZO) を使用して、複数のゲートを備えたイオン結合酸化物電気二重層トランジスタを作製し、シナプス挙動シミュレーションとニューロモルフィック計算への応用を検証しました。ParkResearchGroup^[109]電荷トラップ層としてアルキル化酸化グラフェンを使用し、感光性電荷輸送層としてインジウムガリウム亜鉛酸化物 (IGZO) を使用して、光電シナプスニューロモルフィックデバイスを準備しました。20と100の重量状態の2つのケースでは、784シナプス重量が出力数、最終的に最大62%の画像認識率が得られます。最近、リーの研究グループ^[110]2電極メモリスタに基づく人工神経シナプスは、複数の電気化学的堆積法によって調製されました。rGOがステンレス鋼の糸の上に層ごとに組み立てられた後、2本の糸が交差してシナプスユニットを形成しました。この人工シナプスは、いくつかの重要な生物学的興奮性シナプス後電流 (EPSC)、ダブルパルス促進 (PPF)、短期可塑性 (STP) から長期可塑性 (LTP) への移行などのシナプス機能が開発されました。Huangの研究グループ^[104]普遍的な酸化グラフェン人工神経シナプスは簡単なプロセスで準備されました人工シナプスプラットフォームでは、周期的刺激下での活性化分極と自発的脱分極が詳細に研究され、複数のシナプス/抑制とその変換をシミュレートするための一連の方法が開発されましたモード。これは、GO要素が特定の信号の伝達と神経形態計算の調節に大きな可能性を秘めていることを証明しています。写真10示されているように、機能層としてGOを使用した人工神経シナプスは、シナプスの動作をシミュレートするための前提および基礎である、連続分極、飽和、および脱分極の段階で、内部イオンに時間依存の移動および蓄積効果があります。

5まとめと展望

建築単位としてのGO / rGOは、さまざまな種類の機能性材料構造で顕著な特性を示しています。この記事で説明するインテリジェント情報デバイスに加えて、GO / rGOは、エネルギー変換など、他の多くの分野にも適用できます。^[111,112]、環境を守ること^[113,114]、センサー^[115]、生物医学^[116,117]しかし、実際の産業用途の前に、GO / rGOはまだいくつかの実践的な課題に直面しています。(1) GOの現在の主な合成方法は、取り扱いが難しい強力な酸化剤を使用しており、環境保護とエネルギー消費に大きな圧力がかかっています。なぜなら、高い構造異方性、水性分散液の高粘度、および面倒な精製ステップでは、GOの大規模な調製および精製方法の開発が必要になるためです。(2) GO / rGOの構造特性は、生黒鉛、酸化/還元工程、後処理条件、周囲温度、粘度などが大きく異なり、デバイス性能の再現性に大きな問題がありますので、検出しやすい材料規格や用途仕様を確立する必要があります。(3) GO / rGO独自の光電子特性、優れた熱特性、および溶液加工性によって表されるグラファイトベースの材料は、インテリジェントな情報デバイスで頭角を現していますが、そのマルチレベルで異なる特性も研究の障害であり、現在のデバイスの特定の動作メカニズムに起因しますが、まだあまり明確ではありません。実験現象の説明は、ランダムな欠陥を持つπ-π共役炭素ベースのフレームワークの導電性または酸素の化学活性にのみ起因する可能性があります。-可変数とタイプの機能グループを含みます。^[118]。溶液処理可能なGO / rGOの深い物理的および化学的特性はまだあまり調査されていません^[119]本来のグラフェンほど深くはないので、大規模で標準化された材料の観点から既存のメカニズムを改善し続け、さまざまな試験方法や試験方法を使用して新しい理論をさまざまな角度から検証する必要があります。

まだまだ課題は多いですが、可溶性GO / rGOをベースにした研究が注目されており、さまざまなインテリジェント情報デバイスの開発、特にフレキシブルエレクトロニクス技術の開発に確実に貢献していきます。

セクションインデックス

参考文献

1 GO / rGO準備と特性

[1] ノボセロフKS、ガイムAK、モロゾフSV、他 原子的に薄い炭素膜における電場効果。Science、2004、306 : 666-669 »

2 GO / rGO機能化

CrossRef (<https://doi.org/10.1126/science.1102896>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16907528>) »ADS

3 GO / rGO自己組織化

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2004Sci...306..666N>) »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=Electric field effect in atomically thin carbon films&author=Novoselov K S&author=Geim A K&author=Morozov S>)

4 GO / rGOインテリジェントデバイス

Effect in atomically thin carbon films&author=Novoselov K S&author=Geim A K&author=Morozov S

5 まとめと展望

publication_year=2004&journal=Science&volume=306&pages=666-669)

[2] Lin YM、Valdes-Garcia A、Han SJ、他 ウェーハスケールのグラフェン集積回路。Science、2011、332 : 1294-1297 »

CrossRef (<https://doi.org/10.1126/science.1204428>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21659599>) »ADS

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011Sci...332.1294L>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Wafer-scale graphene integrated circuit&author=Lin Y M&author=Valdes-Garcia A&author=Han S](https://scholar.google.com/scholar?&q=Wafer-scale graphene integrated circuit&author=Lin Y M&author=Valdes-Garcia A&author=Han S J&publication_year=2011&journal=Science&volume=332&pages=1294-1297)

J&publication_year=2011&journal=Science&volume=332&pages=1294-1297)

[3] Bonaccorso F、Sun Z、Hasan T、他 グラフェンフォトンクスとオプトエレクトロニクス。Nat Photon、2010、4 : 611-622

»CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nphoton.2010.186>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2010NaPho...4..611B>) »arXiv

(<http://arxiv.org/abs/1006.4854>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene photonics and optoelectronics&author=Bonaccorso F&author=Sun Z&author=Hasan T&publication_year=2010&journal=Nat Photon&volume=4&pages=611-622)

[4] グリゴレンコAN、ポリーニM、ノボセロフKS。グラフェンプラズモニクス。ナットフoton、2012、6 : 749-758 »

CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nphoton.2012.262>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012NaPho...6..749G>) »arXiv

(<http://arxiv.org/abs/1301.4241>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene plasmonics&author=Grigorenko A N&author=Polini M&author=Novoselov K S&publication_year=2012&journal=Nat Photon&volume=6&pages=749-758)

publication_year=2012&journal=Nat Photon&volume=6&pages=749-758)

[5] Dreyer DR、Ruoff RS、Bielawski C W。構想から実現まで : グラフェンの歴史的説明とその将来の展望。Angew Chem Int Ed、2010、49 : 9336-9344 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/anie.201003024>) »PubMed

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21110353>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=From conception to realization: An historical account of graphene and some perspectives for its future&author=Dreyer D R&author=Ruoff R S&author=Bielawski C W&publication_year=2010&journal=Angew Chem Int Ed&volume=49&pages=9336-9344)

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21110353>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=From conception to realization: An historical account of graphene and some perspectives for its future&author=Dreyer D R&author=Ruoff R S&author=Bielawski C W&publication_year=2010&journal=Angew Chem Int Ed&volume=49&pages=9336-9344)

[6] Zhu Y、Murali S、Cai W、他 グラフェンと酸化グラフェン : 合成、特性、および用途。Adv Mater、2010、22 : 3906-3924

»CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201001068>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20706983>) »Google

Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications&author=Zhu Y&author=Murali S&author=Cai W&publication_year=2010&journal=Adv Mater&volume=22&pages=3906-3924)

Mater&volume=22&pages=3906-3924)

[7] Stoller MD、Park S、Zhu Y、他 グラフェンベースのウルトラキャパシター。Nano Lett、2008、8 : 3498-3502 »CrossRef

(<https://doi.org/10.1021/nl802558y>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18788793>) »ADS

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2008NanoL...8.3498S>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene-based ultracapacitors&author=Stoller M D&author=Park S&author=Zhu Y&publication_year=2008&journal=Nano Lett&volume=8&pages=3498-3502)

Let&volume=8&pages=3498-3502)

- [8] Bolotin KI, Sikes KJ, Jiang Z, 他 浮遊グラフェンにおける超高電子移動度。Solid State Commun、2008、146 : 351-355 » CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.ssc.2008.02.024>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2008SSCom.146..351B>) »arXiv (<http://arxiv.org/abs/0802.2389>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Ultrahigh electron mobility in suspended graphene&author=Bolotin K I&author=Sikes K J&author=Jiang Z&publication_year=2008&journal=Solid State Commun&volume=146&pages=351-355](https://scholar.google.com/scholar?&q=Ultrahigh+electron+mobility+in+suspended+graphene&author=Bolotin+K+I&author=Sikes+K+J&author=Jiang+Z&publication_year=2008&journal=Solid+State+Commun&volume=146&pages=351-355))
- [9] Novoselov KS, Jiang Z, Zhang Y, 他 グラフェンの室温量子ホール効果。科学、2007、315 : 1379 »CrossRef (<https://doi.org/10.1126/science.1137201>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17303717>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2007Sci...315.1379N>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Room-temperature quantum hall effect in graphene&author=Novoselov K S&author=Jiang Z&author=Zhang Y&publication_year=2007&journal=Science&volume=315&pages=1379](https://scholar.google.com/scholar?&q=Room-temperature+quantum+hall+effect+in+graphene&author=Novoselov+K+S&author=Jiang+Z&author=Zhang+Y&publication_year=2007&journal=Science&volume=315&pages=1379))
- [10] Lee C, Wei X, Kysar JW, 他 単層グラフェンの弾性特性と固有強度の測定。Science、2008、321 : 385-388 »CrossRef (<https://doi.org/10.1126/science.1157996>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18635798>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2008Sci...321..385L>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene&author=Lee C&author=Wei X&author=Kysar J W&publication_year=2008&journal=Science&volume=321&pages=385-388](https://scholar.google.com/scholar?&q=Measurement+of+the+elastic+properties+and+intrinsic+strength+of+monolayer+graphene&author=Lee+C&author=Wei+X&author=Kysar+J+W&publication_year=2008&journal=Science&volume=321&pages=385-388))
- [11] Balandin AA. グラフェンおよびナノ構造炭素材料の熱特性。Nat Mater、2011、10 : 569-581 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nmat3064>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21778997>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011NatMa...10..569B>) »arXiv (<http://arxiv.org/abs/1106.3789>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials&author=Balandin A A&publication_year=2011&journal=Nat Mater&volume=10&pages=569-581](https://scholar.google.com/scholar?&q=Thermal+properties+of+graphene+and+nanostructured+carbon+materials&author=Balandin+A+A&publication_year=2011&journal=Nat+Mater&volume=10&pages=569-581))
- 1 GO / rGO 準備と特性
2 GO / rGO 機能化
3 GO / rGO 自己組織化
4 GO / rGO イオンリニア
5 まとめと展望
- [12] Jo JW, Lee JU, Jo WH. フレキシブルエレクトロニクス用のグラフェンベースの電極。Polym Int、2015、64 : 1676-1684 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/pi.4981>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene-based electrodes for flexible electronics&author=Jo J W&author=Lee J U&author=Jo W H&publication_year=2015&journal=Polym Int&volume=64&pages=1676-1684](https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene-based+electrodes+for+flexible+electronics&author=Jo+J+W&author=Lee+J+U&author=Jo+W+H&publication_year=2015&journal=Polym+Int&volume=64&pages=1676-1684))
- [13] Petridis C, Konios D, Stylianakis MM, 他 有機太陽電池用の溶液処理された還元型酸化グラフェン電極。Nanoscale Horiz、2016、1 : 375-382 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C5NH00089K>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2016NanoH...1..375P>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Solution processed reduced graphene oxide electrodes for organic photovoltaics&author=Petridis C&author=Konios D&author=Stylianakis M M&publication_year=2016&journal=Nanoscale Horiz&volume=1&pages=375-382](https://scholar.google.com/scholar?&q=Solution+processed+reduced+graphene+oxide+electrodes+for+organic+photovoltaics&author=Petridis+C&author=Konios+D&author=Stylianakis+M+M&publication_year=2016&journal=Nanoscale+Horiz&volume=1&pages=375-382))
- [14] Huang X, Zeng Z, Fan Z, 他 グラフェンベースの電極。Adv Mater、2012、24 : 5979-6004。 »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Huang X, Zeng Z, Fan Z, et al. Graphene-based electrodes. Adv Mater, 2012, 24: 5979-6004&](https://scholar.google.com/scholar?&q=Huang+X,+Zeng+Z,+Fan+Z,+et+al.+Graphene-based+electrodes.+Adv+Mater,+2012,+24,+5979-6004&))
- [15] Pei S, Cheng HM. 酸化グラフェンの還元。カーボン、2012、50 : 3210-3228 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.11.010>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=The reduction of graphene oxide&author=Pei S&author=Cheng H M&publication_year=2012&journal=Carbon&volume=50&pages=3210-3228](https://scholar.google.com/scholar?&q=The+reduction+of+graphene+oxide&author=Pei+S&author=Cheng+H+M&publication_year=2012&journal=Carbon&volume=50&pages=3210-3228))
- [16] Dreyer DR, Todd AD, Bielawski CW. 酸化グラフェンの化学的性質を利用する。Chem Soc Rev、2014、43 : 5288-5301 » CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C4CS00060A>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24789533>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Harnessing the chemistry of graphene oxide&author=Dreyer D R&author=Todd A D&author=Bielawski C W&publication_year=2014&journal=Chem Soc Rev&volume=43&pages=5288-5301](https://scholar.google.com/scholar?&q=Harnessing+the+chemistry+of+graphene+oxide&author=Dreyer+D+R&author=Todd+A+D&author=Bielawski+C+W&publication_year=2014&journal=Chem+Soc+Rev&volume=43&pages=5288-5301))
- [17] Dreyer DR, Park S, Bielawski CWなど。酸化グラフェンの化学。Chem Soc Rev、2010、39 : 228-240 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/B917103G>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20023850>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=The chemistry of graphene oxide&author=Dreyer D R&author=Park S&author=Bielawski C W&publication_year=2010&journal=Chem Soc Rev&volume=39&pages=228-240](https://scholar.google.com/scholar?&q=The+chemistry+of+graphene+oxide&author=Dreyer+D+R&author=Park+S&author=Bielawski+C+W&publication_year=2010&journal=Chem+Soc+Rev&volume=39&pages=228-240))
- [18] Peng L, Xu Z, Liu Z, 他 単層酸化グラフェンの1時間生産への鉄ベースのグリーンアプローチ。Nat Commun、2015、6 : 5716 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms6716>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25607686>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015NatCo...6.5716P>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide&author=Peng L&author=Xu Z&author=Liu Z&publication_year=2015&journal=Nat Commun&volume=6&pages=5716](https://scholar.google.com/scholar?&q=An+iron-based+green+approach+to+1-h+production+of+single-layer+graphene+oxide&author=Peng+L&author=Xu+Z&author=Liu+Z&publication_year=2015&journal=Nat+Commun&volume=6&pages=5716))
- [19] Pei S, Wei Q, Huang K, 他 秒単位の水電解酸化による酸化グラフェンのグリーン合成。Nat Commun、2018、9 : 145 » CrossRef (<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02479-z>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29321501>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018NatCo...9..145P>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Green synthesis of graphene oxide by seconds timescale water electrolytic oxidation&author=Pei S&author=Wei Q&author=Huang K&publication_year=2018&journal=Nat Commun&volume=9&pages=145](https://scholar.google.com/scholar?&q=Green+synthesis+of+graphene+oxide+by+seconds+timescale+water+electrolytic+oxidation&author=Pei+S&author=Wei+Q&author=Huang+K&publication_year=2018&journal=Nat+Commun&volume=9&pages=145))

- [20] Paredes JI, Villar-Rodil S, Solís-Fernández P, 他 酸化グラファイトに由来するグラフェンナノシートの原子間力および走査型トンネル顕微鏡イメージング。Langmuir, 2009, 25 : 5957-5968 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/la804216z>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19341286>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Atomic force and scanning tunneling microscopy imaging of graphene nanosheets derived from graphite oxide&author=Paredes J I&author=Villar-Rodil S&author=Solís-Fernández P&publication_year=2009&journal=Langmuir&volume=25&pages=5957-5968)
- [21] Gengler RYN, Badali DS, Zhang D, 他 酸化グラフェンの光還元の後にある超高速プロセスを明らかにする。Nat Commun, 2013, 4 : 2560 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms3560>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24091384>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013NatCo...4.2560G>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Revealing the ultrafast process behind the photoreduction of graphene oxide&author=Gengler R Y N&author=Badali D S&author=Zhang D&publication_year=2013&journal=Nat Commun&volume=4&pages=2560)
- [22] Lerf A, He H, Forster M, 他 酸化グラファイトの構造の再検討。J Phys Chem B, 1998, 102 : 4477-4482 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/jp9731821>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Structure of graphite oxide revisited&author=Lerf A&author=He H&author=Forster M&publication_year=1998&journal=J Phys Chem B&volume=102&pages=4477-4482)
- セグメントとサブセグメント
- 23) Gao W, Alemany L.B, Ci L, 他 酸化グラファイトの構造と還元に関する新しい洞察。ネイチャーケミストリー, 2009, 1 : 403-408 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nchem.281>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21378895>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009NatCh...1..403G>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=New insights into the structure and reduction of graphite oxide&author=Gao W&author=Alemany L B&author=Ci L&publication_year=2009&journal=Nat Chem&volume=1&pages=403-408)
- 1 GO / rGO 準備と特性
- 2 GO / rGO 機能化
- 3 GO / rGO 自己組織化
- 4 GO / rGO 応用
- 5 まとめと展望
- [23] Rourke J P, Pandey PA, Moore JJ, 他 実際の酸化グラフェンは次のことを明らかにしました。グラフェンのようなシートを酸化性の破片を取り除きます。Angew Chem, 2011, 123 : 3231-3235 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/ange.201007520>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=The real graphene oxide revealed: Stripping the oxidative debris from the graphene-like sheets&author=Rourke J P&author=Pandey P A&author=Moore J J&publication_year=2011&journal=Angew Chem&volume=123&pages=3231-3235)
- [25] Andre MK, Contryman AW, Silcox J, 他 酸化グラフェンの原子および電子構造。Nano Lett, 2009, 9 : 1058-1063 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nl8034256>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19199476>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009NanoL...9.1058M>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Atomic and electronic structure of graphene-oxide&author=Andre M K&author=Contryman A W&author=Silcox J&publication_year=2009&journal=Nano Lett&volume=9&pages=1058-1063)
- [26] Wang YJ, Jing YY, Wang LF, 他 異なる元素をドーピングしたグラフェン量子ドットのフォトルミネッセンス (中国語)。Chin Sci Bull, 2019, 64 : 411-418 »CrossRef (<https://doi.org/10.1360/N972018-00986>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Photoluminescence of graphene quantum dots doped with different elements \(in Chinese\)&author=Wang Y J&author=Jing Y Y&author=Wang L F&publication_year=2019&journal=Chin Sci Bull&volume=64&pages=411-418](https://scholar.google.com/scholar?q=Photoluminescence of graphene quantum dots doped with different elements (in Chinese)&author=Wang Y J&author=Jing Y Y&author=Wang L F&publication_year=2019&journal=Chin Sci Bull&volume=64&pages=411-418))
- [27] Šimek P, Klímová K, Sedmidubský D, 他 ヨウ化グラフェンに向けて : 酸化グラファイトのヨウ素化。ナノスケール, 2015, 7 : 261-270 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C4NR05219F>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25407247>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014Nanos...7..261S>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Towards graphene iodide: Iodination of graphite oxide&author=Šimek P&author=Klímová K&author=Sedmidubský D&publication_year=2015&journal=Nanoscale&volume=7&pages=261-270)
- [28] Poh HL, Šaněk F, Ambrosi A, 他 staudenmaier, hofmann, および hummers 法によって調製されたグラフェンは、結果として熱剥離を伴い、非常に異なる電気化学的特性を示します。ナノスケール, 2012, 4 : 3515-3522 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c2nr30490b>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22535381>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012Nanos...4.3515P>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Graphenes prepared by staudenmaier, hofmann and hummers methods with consequent thermal exfoliation exhibit very different electrochemical properties&author=Poh H L&author=Šaněk F&author=Ambrosi A&publication_year=2012&journal=Nanoscale&volume=4&pages=3515-3522)
- [29] Chen D, Feng H, Li J. 酸化グラフェン : 調製、機能化、および電気化学的アプリケーション。Chem Rev, 2012, 112 : 6027-6053 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/cr300115g>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22889102>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Graphene oxide: Preparation, functionalization, and electrochemical applications&author=Chen D&author=Feng H&author=Li J&publication_year=2012&journal=Chem Rev&volume=112&pages=6027-6053)

Meng QL, Liu HC, Huang Z, 他 手付かすのバルク酸化グラフェンの混合伝導特性。カーボン、2016、101 : 338-344 »

CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.01.087>) »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=Mixed>

conduction properties of pristine bulk graphene oxide&author=Meng Q L&author=Liu H C&author=Huang

Z&publication_year=2016&journal=Carbon&volume=101&pages=338-344)

[31] カリムMR、畠山K、松井T他 プロトン伝導性の高い酸化グラフェンナノシート。J Am Chem Soc、2013、135 : 8097-8100

»CrossRef (<https://doi.org/10.1021/ja401060q>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23676105>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene oxide nanosheet with high proton conductivity&author=Karim M](https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene%20oxide%20nanosheet%20with%20high%20proton%20conductivity&author=Karim%20M)

R&author=Hatakeyama K&author=Matsui T&publication_year=2013&journal=J Am Chem Soc&volume=135&pages=8097-

8100)

[32] Pei S, Zhao J, Du J, 他 ハロゲン化水素酸による酸化グラフェン膜の高導電性で柔軟なグラフェン膜への直接還元。カー

ボン、2010、48 : 4466-4474 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.08.006>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Direct reduction of graphene oxide films into highly conductive and flexible graphene](https://scholar.google.com/scholar?&q=Direct%20reduction%20of%20graphene%20oxide%20films%20into%20highly%20conductive%20and%20flexible%20graphene%20films%20by%20hydrohalic%20acids&author=Pei%20S&author=Zhao%20J&author=Du)

films by hydrohalic acids&author=Pei S&author=Zhao J&author=Du

J&publication_year=2010&journal=Carbon&volume=48&pages=4466-4474)

[33] Chua CK, Pumera M.酸化グラフェンの化学還元 : 合成化学の視点。Chem Soc Rev、2014、43 : 291-312 »CrossRef

(<https://doi.org/10.1039/C3CS60303B>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24121318>) »Google Scholar

セクション([https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemical reduction of graphene oxide: A synthetic chemistry viewpoint&author=Chua](https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemical%20reduction%20of%20graphene%20oxide%3A%20A%20synthetic%20chemistry%20viewpoint&author=Chua)

C K&author=Pumera M&publication_year=2014&journal=Chem Soc Rev&volume=43&pages=291-312)

1 GO / rGO

準備と特性

[34] Qiao YC, Wei YH, Pang Y, 他 レーザースクライビング技術に基づくグラフェンデバイス。Jpn J Appl Phys、2018、57 :

2 GO / rGO

機能化

04FA01 »CrossRef (<https://doi.org/10.7567/JJAP.57.04FA01>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018JaJAP..57dFA01Q>) »

3 GO / rGO

自己組織化

Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene devices based on laser scribing technology&author=Qiao](https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene%20devices%20based%20on%20laser%20scribing%20technology&author=Qiao)

4 GO / rGO

とエレクトロニクス

&author=Wei Y H&author=Pang Y&publication_year=2018&journal=Jpn J Appl Phys&volume=57&pages=04FA01)

5 ゴと異質

材料 HB, Liu J, Song YY, 他 2ビームレーザー干渉によるファブリックベースでの生体模倣グラフェンフィルムの製造

(中国語)。Chin Sci Bull、2019、64 : 1290-1295 »CrossRef (<https://doi.org/10.1360/N972018-00903>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Fabrication of biomimetic graphene films on fabric base by two-beam laser](https://scholar.google.com/scholar?&q=Fabrication%20of%20biomimetic%20graphene%20films%20on%20fabric%20base%20by%20two-beam%20laser%20interference%20(in%20Chinese)&author=Jiang%20H%20B&author=Liu%20J&author=Song%20Y%20Y&publication_year=2019&journal=Chin%20Sci)

interference (in Chinese)&author=Jiang H B&author=Liu J&author=Song Y Y&publication_year=2019&journal=Chin Sci

Bull&volume=64&pages=1290-1295)

[36] Gao W, Singh N, Song L, 他 水和酸化グラファイトフィルムへのマイクロスーパーキャパシタの直接レーザー書き込み。

Nat Nanotech、2011、6 : 496-500 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nnano.2011.110>) »PubMed

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21804554>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011NatNa...6..496G>) »Google

Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Direct laser writing of micro-supercapacitors on hydrated graphite oxide](https://scholar.google.com/scholar?&q=Direct%20laser%20writing%20of%20micro-supercapacitors%20on%20hydrated%20graphite%20oxide)

films&author=Gao%20W&author=Singh%20N&author=Song%20L&publication_year=2011&journal=Nat

Nanotech&volume=6&pages=496-500)

[37] Xie L, Lei XH, Tan XG, et al. 異なる波長のレーザーによる酸化グラフェンの還元 (中国語) Acta Photon Sin、2018、

47 : 431003 [Xie Lei, Lei Xiaohua, Tan Xiaogang, et al. 異なる波長のレーザーによる酸化グラフェン (中国語)。酸化グラ

フェンのレーザー還元の法則。Acta Photonica Sinica、2018、47 : 431003]。 »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Xie L, Lei X H, Tan X G, et al. Reduction of graphene oxide by laser with different](https://scholar.google.com/scholar?&q=Xie%20L%2C%20Lei%20X%20H%2C%20Tan%20X%20G%2C%20et%20al.%20Reduction%20of%20graphene%20oxide%20by%20laser%20with%20different)

wavelengths (in Chinese). Acta Photon Sin、2018、47: 431003 [谢磊, 雷小华, 谭小刚, 等. 不同波长的激光还原氧化石墨烯的规

律. 光子学报, 2018, 47: 431003]&)

[38] Chyan Y, Ye R, Li Y, 他 複数のレーザー発振によるレーザー誘起グラフェン : 布、紙、食品の電子機器に向けて。ACS

Nano、2018、12 : 2176-2183 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b08539>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Laser-induced graphene by multiple lasing: Toward electronics on cloth, paper, and](https://scholar.google.com/scholar?&q=Laser-induced%20graphene%20by%20multiple%20lasing%3A%20Toward%20electronics%20on%20cloth%2C%20paper%2C%20and%20food&author=Chyan%20Y&author=Ye%20R&author=Li%20Y&publication_year=2018&journal=ACS%20Nano&volume=12&pages=2176-)

food&author=Chyan Y&author=Ye R&author=Li Y&publication_year=2018&journal=ACS Nano&volume=12&pages=2176-

2183)

[39] パパゾグロウS、ペトリディスC、キマキスE、他 その場で酸化グラフェン膜の連続レーザー転写とレーザー還元。Appl

Phys Lett、2018、112 : 183301 »CrossRef (<https://doi.org/10.1063/1.5021862>) »ADS

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018ApPhL.112r3301P>) »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=In-situ>

sequential laser transfer and laser reduction of graphene oxide films&author=Papazoglou S&author=Petridis

C&author=Kymakis E&publication_year=2018&journal=Appl Phys Lett&volume=112&pages=183301)

[40] Li D, MüllerMB, Gilje S, 他 グラフェンナノシートの処理可能な水性分散液。Nat Nanotech、2008、3 : 101-105 »

CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nnano.2007.451>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18654470>) »ADS

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2008NatNa...3..101L>) »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=Processable>

aqueous dispersions of graphene nanosheets&author=Li D&author=Müller M B&author=Gilje

S&publication_year=2008&journal=Nat Nanotech&volume=3&pages=101-105)

- [41] Moon IK, Lee J, Ruoff RS, 他 化学的黒鉛化による還元型酸化グラフェン. Nat Commun, 2010, 1 : 73 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms1067>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20865806>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2010NatCo...1...73M>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Reduced graphene oxide by chemical graphitization&author=Moon I K&author=Lee J&author=Ruoff R S&publication_year=2010&journal=Nat Commun&volume=1&pages=73](https://scholar.google.com/scholar?&q=Reduced+graphene+oxide+by+chemical+graphitization&author=Moon+I+K&author=Lee+J&author=Ruoff+R+S&publication_year=2010&journal=Nat+Commun&volume=1&pages=73))
- [42] Xu Y, Sheng K, Li C, 他 穏やかに酸化された酸化グラフェンから調製された高導電性の化学変換グラフェン. J Mater Chem, 2011, 21 : 7376 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c1jm10768b>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Highly conductive chemically converted graphene prepared from mildly oxidized graphene oxide&author=Xu Y&author=Sheng K&author=Li C&publication_year=2011&journal=J Mater Chem&volume=21&pages=7376](https://scholar.google.com/scholar?&q=Highly+conductive+chemically+converted+graphene+prepared+from+mildly+oxidized+graphene+oxide&author=Xu+Y&author=Sheng+K&author=Li+C&publication_year=2011&journal=J+Mater+Chem&volume=21&pages=7376))
- [43] Xu C, Yuan R, Wang X. 酸化グラフェンの選択的還元. New Carbon Mater, 2014, 29 : 61-66 »CrossRef ([https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(14\)60126-8](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(14)60126-8)) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Selective reduction of graphene oxide&author=Xu C&author=Yuan R&author=Wang X&publication_year=2014&journal=New Carbon Mater&volume=29&pages=61-66](https://scholar.google.com/scholar?&q=Selective+reduction+of+graphene+oxide&author=Xu+C&author=Yuan+R&author=Wang+X&publication_year=2014&journal=New+Carbon+Mater&volume=29&pages=61-66))
- [44] Mathkar A, Tozier D, Cox P, 他 酸化グラフェンの制御された段階的な還元とバンドギャップ操作. J Phys Chem Lett, 2012, 3 : 986-991 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/jz300096t>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26286560>)
- セクション 5
1 GO / rGO 準備と特性
2 GO / rGO 機能化
3 GO / rGO 自己組織化
4 GO / rGO の応用
5 まとめと展望
- Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Controlled, stepwise reduction and band gap manipulation of graphene oxide&author=Mathkar A&author=Tozier D&author=Cox P&publication_year=2012&journal=J Phys Chem Lett&volume=3&pages=986-991](https://scholar.google.com/scholar?&q=Controlled,+stepwise+reduction+and+band+gap+manipulation+of+graphene+oxide&author=Mathkar+A&author=Tozier+D&author=Cox+P&publication_year=2012&journal=J+Phys+Chem+Lett&volume=3&pages=986-991))
- [45] Chua CK, Pumeram M. 酸化グラフェンからのヒドロキシル基の選択的除去. Chem Eur J, 2013, 19 : 2005-2011 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/chem.201204002>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23335356>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Selective removal of hydroxyl groups from graphene oxide&author=Chua C &author=Pumera M&publication_year=2013&journal=Chem Eur J&volume=19&pages=2005-2011](https://scholar.google.com/scholar?&q=Selective+removal+of+hydroxyl+groups+from+graphene+oxide&author=Chua+C&author=Pumera+M&publication_year=2013&journal=Chem+Eur+J&volume=19&pages=2005-2011))
- [46] Yu M, Zhang S, Chen Y, 他 電気化学的性能を向上させるために、残留カルボニル基を含む酸化グラフェンを還元する環境に優しい方法. カーボン, 2018, 133 : 101-108 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.03.019>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=A green method to reduce graphene oxide with carbonyl groups residual for enhanced electrochemical performance&author=Yu M&author=Zhang S&author=Chen Y&publication_year=2018&journal=Carbon&volume=133&pages=101-108](https://scholar.google.com/scholar?&q=A+green+method+to+reduce+graphene+oxide+with+carbonyl+groups+residual+for+enhanced+electrochemical+performance&author=Yu+M&author=Zhang+S&author=Chen+Y&publication_year=2018&journal=Carbon&volume=133&pages=101-108))
- [47] Du ZZ, Li W, Ai W, 他 酸化グラフェンの化学選択的還元とその不揮発性有機トランジスタメモリデバイスへの応用 RSC Adv, 2013, 3 : 25788 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c3ra43819h>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemoselective reduction of graphene oxide and its application in nonvolatile organic transistor memory devices&author=Du Z Z&author=Li W&author=Ai W&publication_year=2013&journal=RSC Adv&volume=3&pages=25788](https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemoselective+reduction+of+graphene+oxide+and+its+application+in+nonvolatile+organic+transistor+memory+devices&author=Du+Z+Z&author=Li+W&author=Ai+W&publication_year=2013&journal=RSC+Adv&volume=3&pages=25788))
- [48] 趙F, 劉J, 黃X, 他. 立体障害アミンを触媒として使用した酸化グラフェンの化学選択的光脱酸 : 合成と応用 ACS Nano, 2012, 6 : 3027-3033 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn2047185>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22420637>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemoselective photodeoxidization of graphene oxide using sterically hindered amines as catalyst: Synthesis and applications&author=Zhao F&author=Liu J&author=Huang X&publication_year=2012&journal=ACS Nano&volume=6&pages=3027-3033](https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemoselective+photodeoxidization+of+graphene+oxide+using+sterically+hindered+amines+as+catalyst:+Synthesis+and+applications&author=Zhao+F&author=Liu+J&author=Huang+X&publication_year=2012&journal=ACS+Nano&volume=6&pages=3027-3033))
- [49] Tung VC, Kim J, Cote LJ, 他. 溶液処理タンデム太陽電池用のスティッキー相互接続. J Am Chem Soc, 2011, 133 : 9262-9265 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/ja203464n>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21615169>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Sticky interconnect for solution-processed tandem solar cells&author=Tung V C&author=Kim J&author=Cote L J&publication_year=2011&journal=J Am Chem Soc&volume=133&pages=9262-9265](https://scholar.google.com/scholar?&q=Sticky+interconnect+for+solution-processed+tandem+solar+cells&author=Tung+V+C&author=Kim+J&author=Cote+L+J&publication_year=2011&journal=J+Am+Chem+Soc&volume=133&pages=9262-9265))
- [50] Parvez K, Wu ZS, Li R, 他 無機塩の水溶液中でのグラファイトのグラフェンへの剥離. J Am Chem Soc, 2014, 136 : 6083-6091 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/ja5017156>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24684678>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Exfoliation of graphite into graphene in aqueous solutions of inorganic salts&author=Parvez K&author=Wu Z S&author=Li R&publication_year=2014&journal=J Am Chem Soc&volume=136&pages=6083-6091](https://scholar.google.com/scholar?&q=Exfoliation+of+graphite+into+graphene+in+aqueous+solutions+of+inorganic+salts&author=Parvez+K&author=Wu+Z+S&author=Li+R&publication_year=2014&journal=J+Am+Chem+Soc&volume=136&pages=6083-6091))
- [51] Du ZZ, Ai W, Zhao JF, 他 両親媒性グラフェンの合成と特性化. Sci China Technol Sci, 2014, 57 : 244-248 »CrossRef (<https://doi.org/10.1007/s11431-014-5454-z>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Synthesis and characterization of amphiphilic graphene&author=Du Z Z&author=Ai W&author=Zhao J F&publication_year=2014&journal=Sci China Technol Sci&volume=57&pages=244-248](https://scholar.google.com/scholar?&q=Synthesis+and+characterization+of+amphiphilic+graphene&author=Du+Z+Z&author=Ai+W&author=Zhao+J+F&publication_year=2014&journal=Sci+China+Technol+Sci&volume=57&pages=244-248))

[52]

- Liu J, Tang J, Gooding JJ. グラフェンの化学修飾の戦略と化学修飾されたグラフェンの応用. *J Mater Chem*, 2012, 22 : 12435-12452 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c2jm31218b>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Strategies for chemical modification of graphene and applications of chemically modified graphene&author=Liu J&author=Tang J&author=Gooding J J&publication_year=2012&journal=J Mater Chem&volume=22&pages=12435-12452)
- [53] Lai C, Sun Y, Yang H, 他 クリックケミストリーによるグラフェンと酸化グラフェンの機能化. *Acta Chim Sin*, 2013, 71 : 20130901. »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=Lai C, Sun Y, Yang H, et al. The functionalization of graphene and graphene oxide via click chemistry. Acta Chim Sin, 2013, 71: 20130901&>)
- [54] Xiang Z, Dai Q, Chen JF, 他 エネルギー変換と貯蔵のためのグラフェンと二次元共有結合性有機ポリマーのエッジ官能化. *Adv Mater*, 2016, 28 : 6253-6261 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201505788>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27038041>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Edge functionalization of graphene and two-dimensional covalent organic polymers for energy conversion and storage&author=Xiang Z&author=Dai Q&author=Chen J F&publication_year=2016&journal=Adv Mater&volume=28&pages=6253-6261)
- [55] Kuila T, Bose S, Mishra AK, 他. グラフェンの化学的機能化とその応用. *Prog Mater Sci*, 2012, 57 : 1061-1105 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.03.002>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemical functionalization of graphene and its applications&author=Kuila T&author=Bose S&author=Mishra A K&publication_year=2012&journal=Prog Mater Sci&volume=57&pages=1061-1105)
- [56] Ren S, Rong P, Yu Q. 機能デバイスにおけるグラフェンの調製、特性、および応用: 簡潔なレビュー. *Ceramics Int*, 2018, 44 : 11940-11955 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.089>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review&author=Ren S&author=Rong P&author=Yu Q&publication_year=2018&journal=Ceramics Int&volume=44&pages=11940-11955)
- [57] Ai W, Luo Z, Jiang J, 他 窒素と硫黄を共ドーブしたグラフェン: 高性能リチウムイオン電池と酸素還元反応のための多機能電極材料. *Adv Mater*, 2014, 26 : 6186-6192 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201401427>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25069955>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Nitrogen and sulfur codoped graphene: Multifunctional electrode materials for high-performance Li-ion batteries and oxygen reduction reaction&author=Ai W&author=Luo Z&author=Jiang J&publication_year=2014&journal=Adv Mater&volume=26&pages=6186-6192)
- [58] Ai W, Zhou W, Du Z, 他 高性能スーパーキャパシタ電極用のベンゾオキサゾールおよびベンズイミダゾール複素環グラフト化グラフェン. *J Mater Chem*, 2012, 22 : 23439-23446 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c2jm35234f>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Benxoxazole and benzimidazole heterocycle-grafted graphene for high-performance supercapacitor electrodes&author=Ai W&author=Zhou W&author=Du Z&publication_year=2012&journal=J Mater Chem&volume=22&pages=23439-23446)
- [59] Qian Y, Zhang S, Gao J, 他 非共有機能化によるグラフェンベースのナノ材料の製造とその応用. *Chem Bull*, 2015, 78 : 497-504. »Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?&q=Qian Y, Zhang S, Gao J, et al. Fabrication of graphene-based nanomaterials by non-covalent functionalization and their applications. Chem Bull, 2015, 78: 497-504&>)
- [60] Georgakilas V, Tiwari JN, Kemp KC, 他 エネルギー材料、バイオセンシング、触媒、および生物医学的応用のためのグラフェンおよび酸化グラフェンの非共有官能基化. *Chem Rev*, 2016, 116 : 5464-5519 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00620>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27033639>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Noncovalent functionalization of graphene and graphene oxide for energy materials, biosensing, catalytic, and biomedical applications&author=Georgakilas V&author=Tiwari J N&author=Kemp K C&publication_year=2016&journal=Chem Rev&volume=116&pages=5464-5519)
- [61] Geng J, Jung H T. 水性懸濁液中のポルフィリン官能化グラフェンシート: グラフェンシートの調製から高導電性グラフェンフィルムまで. *J Phys Chem C*, 2010, 114 : 8227-8234 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/jp1008779>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Porphyrin functionalized graphene sheets in aqueous suspensions: From the preparation of graphene sheets to highly conductive graphene films&author=Geng J&author=Jung H T&publication_year=2010&journal=J Phys Chem C&volume=114&pages=8227-8234)
- [62] Wang M, Gao Y, Zhang J, 他 超高感度ドーパミン検出用の新しいイオン液体-酸化グラフェン水性分散液中の高度に分散したカーボンナノチューブ. *Electrochim Acta*, 2015, 155 : 236-243 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.12.114>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?&q=Highly dispersed carbon nanotube in new ionic liquid-graphene oxides aqueous dispersions for ultrasensitive dopamine detection&author=Wang M&author=Gao Y&author=Zhang J&publication_year=2015&journal=Electrochim Acta&volume=155&pages=236-243)

[63]

Wang Y, Hou X, Cheng C, 他 非共役ポリマーと化学的に変換されたグラフェン間の非共有相互作用の光学的特性評価。

Aust J Chem, 2014, 67 : 168-172 »CrossRef (<https://doi.org/10.1071/CH13243>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?q=Optical characterisation of non-covalent interactions between non-conjugated polymers and chemically converted graphene&author=Wang Y&author=Hou X&author=Cheng C&publication_year=2014&journal=Aust J Chem&volume=67&pages=168-172](https://scholar.google.com/scholar?q=Optical+characterisation+of+non-covalent+interactions+between+non-conjugated+polymers+and+chemically+converted+graphene&author=Wang+Y&author=Hou+X&author=Cheng+C&publication_year=2014&journal=Aust+J+Chem&volume=67&pages=168-172))

[64] Li Z, Liu Z, Sun H, 他 ナノカーボンの超構造化アセンブリ: フラーレン、ナノチューブ、およびグラフェン。Chem Rev, 2015, 115 : 7046-7117 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00102>) »PubMed

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26168245>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Superstructured assembly of nanocarbons: Fullerenes, nanotubes, and graphene&author=Li Z&author=Liu Z&author=Sun H&publication_year=2015&journal=Chem Rev&volume=115&pages=7046-7117](https://scholar.google.com/scholar?q=Superstructured+assembly+of+nanocarbons:+Fullerenes,+nanotubes,+and+graphene&author=Li+Z&author=Liu+Z&author=Sun+H&publication_year=2015&journal=Chem+Rev&volume=115&pages=7046-7117))

[65] Ma X, Zachariah MR, Zangmeister CD. 酸化グラフェンからのしわくちゃのナノペーパー。Nano Lett, 2012, 12 : 486-489 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nl203964z>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22185469>) »ADS

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012NanoL..12..486M>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Crumpled nanopaper from graphene oxide&author=Ma X&author=Zachariah M R&author=Zangmeister C D&publication_year=2012&journal=Nano Lett&volume=12&pages=486-489](https://scholar.google.com/scholar?q=Crumpled+nanopaper+from+graphene+oxide&author=Ma+X&author=Zachariah+M+R&author=Zangmeister+C+D&publication_year=2012&journal=Nano+Lett&volume=12&pages=486-489))

[66] マオS、ウェンZ、キムH、他。エネルギー用途向けのしわくちゃのグラフェンベースのナノハイブリッドのワンポット製造

セクションの一般的なアプローチ。ACS Nano, 2012, 6 : 7505-7513 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn302818j>) »PubMed

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22838735>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=A general](https://scholar.google.com/scholar?q=A+general)

1 GO / rGO 準備と特性 approach to one-pot fabrication of crumpled graphene-based nanohybrids for energy applications&author=Mao

2 GO / rGO 機能化 S&author=Wen+Z&author=Kim+H&publication_year=2012&journal=ACS+Nano&volume=6&pages=7505-7513)

3 GO / rGO 自己組織化

[67] Cong HP, Ren XC, Wang P, 他 連続的で、きちんとした、巨視的なグラフェン繊維の湿式紡糸アセンブリ。Sci Rep,

4 GO / rGO 自己組織化 2012, 2 : 613 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/srep00613>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22937222>) »

5 まとめと展望 ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012NatSR...2E.613C>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Wet-spinning assembly of continuous, neat and macroscopic graphene fibers&author=Cong H P&author=Ren X C&author=Wang P&publication_year=2012&journal=Sci Rep&volume=2&pages=613](https://scholar.google.com/scholar?q=Wet-spinning+assembly+of+continuous,+neat+and+macroscopic+graphene+fibers&author=Cong+H+P&author=Ren+X+C&author=Wang+P&publication_year=2012&journal=Sci+Rep&volume=2&pages=613))

[68] Xu Z, Sun H, Zhao X, 他 巨大な酸化グラフェンシートから組み立てられた超強力繊維。Adv Mater, 2013, 25 : 188-193

»CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201203448>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23047734>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Ultrastrong fibers assembled from giant graphene oxide sheets&author=Xu Z&author=Sun H&author=Zhao X&publication_year=2013&journal=Adv Mater&volume=25&pages=188-193](https://scholar.google.com/scholar?q=Ultrastrong+fibers+assembled+from+giant+graphene+oxide+sheets&author=Xu+Z&author=Sun+H&author=Zhao+X&publication_year=2013&journal=Adv+Mater&volume=25&pages=188-193))

[69] ナラヤンR、キムJE、キムJY、他。酸化グラフェン液晶: 発見、進化および応用。Adv Mater, 2016, 28 : 3045-3068 »

CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201505122>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26928388>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Graphene oxide liquid crystals: Discovery, evolution and applications&author=Narayan R&author=Kim J E&author=Kim J Y&publication_year=2016&journal=Adv Mater&volume=28&pages=3045-3068](https://scholar.google.com/scholar?q=Graphene+oxide+liquid+crystals:+Discovery,+evolution+and+applications&author=Narayan+R&author=Kim+J+E&author=Kim+J+Y&publication_year=2016&journal=Adv+Mater&volume=28&pages=3045-3068))

[70] Chen C, Yang QH, Yang Y, 他 自己組織化自立型酸化グラファイト膜。Adv Mater, 2009, 21 : 3007-3011 »CrossRef

(<https://doi.org/10.1002/adma.200803726>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Self-assembled free-standing graphite oxide membrane&author=Chen C&author=Yang Q H&author=Yang Y&publication_year=2009&journal=Adv Mater&volume=21&pages=3007-3011](https://scholar.google.com/scholar?q=Self-assembled+free-standing+graphite+oxide+membrane&author=Chen+C&author=Yang+Q+H&author=Yang+Y&publication_year=2009&journal=Adv+Mater&volume=21&pages=3007-3011))

[71] Zhang X, Wang Y, Watanabe S, 他 固体表面上での化学的に変換されたグラフェンの蒸発誘起平坦化と自己組織化。ソフト

トマター, 2011, 7 : 8745-8748 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c1sm06382k>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011SMat...7.8745Z>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Evaporation-induced flattening and self-assembly of chemically converted graphene on a solid surface&author=Zhang X&author=Wang Y&author=Watanabe S&publication_year=2011&journal=Soft Matter&volume=7&pages=8745-8748](https://scholar.google.com/scholar?q=Evaporation-induced+flattening+and+self-assembly+of+chemically+converted+graphene+on+a+solid+surface&author=Zhang+X&author=Wang+Y&author=Watanabe+S&publication_year=2011&journal=Soft+Matter&volume=7&pages=8745-8748))

[72] Stevens B, Dessiatova E, Hagen DA, 他 酸化グラフェンナノブリック壁の低温熱還元: 完全有機高分子電解質多層薄膜に

おける高いガスバリアと低い抵抗率のユニークな組み合わせ。ACS Appl Mater Interfaces, 2014, 6 : 9942-9945 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/am502889w>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24949524>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Low-temperature thermal reduction of graphene oxide nanobrick walls: Unique combination of high gas barrier and low resistivity in fully organic polyelectrolyte multilayer thin films&author=Stevens B&author=Dessiatova E&author=Hagen D A&publication_year=2014&journal=ACS Appl Mater Interfaces&volume=6&pages=9942-9945](https://scholar.google.com/scholar?q=Low-temperature+thermal+reduction+of+graphene+oxide+nanobrick+walls:+Unique+combination+of+high+gas+barrier+and+low+resistivity+in+fully+organic+polyelectrolyte+multilayer+thin+films&author=Stevens+B&author=Dessiatova+E&author=Hagen+D+A&publication_year=2014&journal=ACS+Appl+Mater+Interfaces&volume=6&pages=9942-9945))

[73] Tang Z, Shen S, Zhuang J, 他 単層酸化グラフェンの貴金属促進三次元マクロ集合体。Angew Chem Int Ed, 2010, 49 :

4603-4607 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/anie.201000270>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20491102>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Noble-metal-promoted three-dimensional macroassembly of single-](https://scholar.google.com/scholar?q=Noble-metal-promoted+three-dimensional+macroassembly+of+single-)

layered graphene oxide&author=Tang Z&author=Shen S&author=Zhuang J&publication_year=2010&journal=Angew Chem Int Ed&volume=49&pages=4603-4607)

- [74] Qiu L, Liu JZ, Chang SLY, 他 生体模倣超弾性グラフェンベースのセルラーモノリス. Nat Commun, 2012, 3 : 1241 » CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms2251>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23212370>) » ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012NatCo...3.1241Q>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Biomimetic superelastic graphene-based cellular monoliths&author=Qiu L&author=Liu J Z&author=Chang S L Y&publication_year=2012&journal=Nat Commun&volume=3&pages=1241](https://scholar.google.com/scholar?q=Biomimetic+superelastic+graphene-based+cellular+monoliths&author=Qiu+L&author=Liu+J+Z&author=Chang+S+L+Y&publication_year=2012&journal=Nat+Commun&volume=3&pages=1241))
- [75] Wan W, Li L, Zhao Z, 他 共有結合で架橋された多機能酸化グラフェンモノリスの超高速製造. Adv Funct Mater, 2014, 24 : 4915-4921 » CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adfm.201303815>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Ultrafast fabrication of covalently cross-linked multifunctional graphene oxide monoliths&author=Wan W&author=Li L&author=Zhao Z&publication_year=2014&journal=Adv Funct Mater&volume=24&pages=4915-4921](https://scholar.google.com/scholar?q=Ultrafast+fabrication+of+covalently+cross-linked+multifunctional+graphene+oxide+monoliths&author=Wan+W&author=Li+L&author=Zhao+Z&publication_year=2014&journal=Adv+Funct+Mater&volume=24&pages=4915-4921))
- [76] Xu Z, Gao C. 酸化グラフェンの水性液晶. ACS Nano, 2011, 5 : 2908-2915 » CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn200069w>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21375309>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Aqueous liquid crystals of graphene oxide&author=Xu Z&author=Gao C&publication_year=2011&journal=ACS Nano&volume=5&pages=2908-2915](https://scholar.google.com/scholar?q=Aqueous+liquid+crystals+of+graphene+oxide&author=Xu+Z&author=Gao+C&publication_year=2011&journal=ACS+Nano&volume=5&pages=2908-2915))
- [77] Xu Z, Gao C. グラフェンキラル液晶および巨視的に組み立てられた繊維. Nat Commun, 2011, 2 : 571 » CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms1583>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22146390>) » ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011NatCo...2..571X>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Graphene chiral liquid crystals and macroscopic assembled fibres&author=Xu Z&author=Gao C&publication_year=2011&journal=Nat Commun&volume=2&pages=571](https://scholar.google.com/scholar?q=Graphene+chiral+liquid+crystals+and+macroscopic+assembled+fibr&author=Xu+Z&author=Gao+C&publication_year=2011&journal=Nat+Commun&volume=2&pages=571))
- 1 GO / rGO 準備と特性
2 GO / rGO 機能化
3 GO / rGO 自己組織化
- [78] 趙F. 高性能メモリデバイスのための酸化グラフェンの修飾と自己組織化 (中国語) 修士論文. 南京: 南京郵電大学, 2012年
- 4 GO / rGO インテリジ
[79] 趙飛. 高性能メモリのための酸化グラフェンの修飾と自己組織化 devices (中国語). パフォーマンス研究. 修士論文. 南
- 5 まとめと展望
- [79] Tan C, Qi X, Liu Z, 他 極薄の低次元ナノ材料からの自己組織化キラルナノファイバー. J Am Chem Soc, 2015, 137 : 1565-1571 » CrossRef (<https://doi.org/10.1021/ja511471b>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25581019>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Self-assembled chiral nanofibers from ultrathin low-dimensional nanomaterials&author=Tan C&author=Qi X&author=Liu Z&publication_year=2015&journal=J Am Chem Soc&volume=137&pages=1565-1571](https://scholar.google.com/scholar?q=Self-assembled+chiral+nanofibers+from+ultrathin+low-dimensional+nanomaterials&author=Tan+C&author=Qi+X&author=Liu+Z&publication_year=2015&journal=J+Am+Chem+Soc&volume=137&pages=1565-1571))
- [80] Dikin DA, Stankovich S, Zimney EJ, 他. 酸化グラフェン紙の調製と特性評価. Nature, 2007, 448 : 457-460 » CrossRef (<https://doi.org/10.1038/nature06016>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17653188>) » ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2007Natur.448..457D>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Preparation and characterization of graphene oxide paper&author=Dikin D A&author=Stankovich S&author=Zimney E J&publication_year=2007&journal=Nature&volume=448&pages=457-460](https://scholar.google.com/scholar?q=Preparation+and+characterization+of+graphene+oxide+paper&author=Dikin+D+A&author=Stankovich+S&author=Zimney+E+J&publication_year=2007&journal=Nature&volume=448&pages=457-460))
- [81] Liu J, Lin Z, Liu T, 他 多層積層低温還元グラフェン酸化膜: 調製、特性評価、およびポリマーメモリデバイスへの応用. 小, 2010, 6 : 1536-1542 » CrossRef (<https://doi.org/10.1002/sml.201000328>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20564728>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Multilayer stacked low-temperature-reduced graphene oxide films: Preparation, characterization, and application in polymer memory devices&author=Liu J&author=Lin Z&author=Liu T&publication_year=2010&journal=Small&volume=6&pages=1536-1542](https://scholar.google.com/scholar?q=Multilayer+stacked+low-temperature-reduced+graphene+oxide+films:+Preparation,+characterization,+and+application+in+polymer+memory+devices&author=Liu+J&author=Lin+Z&author=Liu+T&publication_year=2010&journal=Small&volume=6&pages=1536-1542))
- [82] Guan LZ, Zhao L, Wan YJ, 他 三次元グラフェンベースのポリマーナノコンポジット: 調製、特性および用途. ナノスケール, 2018, 10 : 14788-14811 » CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C8NR03044H>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30052244>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Three-dimensional graphene-based polymer nanocomposites: Preparation, properties and applications&author=Guan L Z&author=Zhao L&author=Wan Y J&publication_year=2018&journal=Nanoscale&volume=10&pages=14788-14811](https://scholar.google.com/scholar?q=Three-dimensional+graphene-based+polymer+nanocomposites:+Preparation,+properties+and+applications&author=Guan+L+Z&author=Zhao+L&author=Wan+Y+J&publication_year=2018&journal=Nanoscale&volume=10&pages=14788-14811))
- [83] Lin S, Zhong Y, Zhao X, 他 簡単なバイオミネラリゼーションに触発されたプロセスを介した再形成および自己修復機能を備えた合成多機能グラフェン複合材料. Adv Mater, 2018, 30 : 1803004 » CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201803004>) » PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29968305>) » Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Synthetic multifunctional graphene composites with reshaping and self-healing features via a facile biomineralization-inspired process&author=Lin S&author=Zhong Y&author=Zhao X&publication_year=2018&journal=Adv Mater&volume=30&pages=1803004](https://scholar.google.com/scholar?q=Synthetic+multifunctional+graphene+composites+with+reshaping+and+self-healing+features+via+a+facile+biomineralization-inspired+process&author=Lin+S&author=Zhong+Y&author=Zhao+X&publication_year=2018&journal=Adv+Mater&volume=30&pages=1803004))

[84]

- Ai W, Du ZZ, Liu JQ, 他 π スタック超分子自己組織化による酸化グラフェンゲルの形成. RSC Adv, 2012, 2 : 12204-12209 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/c2ra21179c>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Formation of graphene oxide gel via the \$\pi\$ -stacked supramolecular self-assembly&author=Ai W&author=Du Z Z&author=Liu J Q&publication_year=2012&journal=RSC Adv&volume=2&pages=12204-12209](https://scholar.google.com/scholar?q=Formation of graphene oxide gel via the π-stacked supramolecular self-assembly&author=Ai W&author=Du Z Z&author=Liu J Q&publication_year=2012&journal=RSC Adv&volume=2&pages=12204-12209))
- [85] Becerril HA, Mao J, Liu Z, 他 透明導体としての溶液処理還元グラフェン酸化膜の評価 ACS Nano, 2008, 2 : 463-470 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn700375n>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19206571>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Evaluation of solution-processed reduced graphene oxide films as transparent conductors&author=Becerril H A&author=Mao J&author=Liu Z&publication_year=2008&journal=ACS Nano&volume=2&pages=463-470)
- [86] Liang J, Li L, Tong K, 他 室温で酸化グラフェンではんだ付けされた銀ナノワイヤー浸透ネットワークとその完全に伸縮可能なポリマー発光ダイオードへの応用 ACS Nano, 2014, 8 : 1590-1600 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn405887k>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24471886>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Silver nanowire percolation network soldered with graphene oxide at room temperature and its application for fully stretchable polymer light-emitting diodes&author=Liang J&author=Li L&author=Tong K&publication_year=2014&journal=ACS Nano&volume=8&pages=1590-1600)
- [87] ヤンY、劉Z、陰Z、他. 柔軟な交流 (ac) 駆動発光ダイオード用の二重機能酸化グラフェン膜のロッドコーティング全溶液製造. RSC Adv, 2014, 4 : 55671-55676 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C4RA06147K>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Rod-coating all-solution fabrication of double functional graphene oxide films for flexible alternating current \(ac\)-driven light-emitting diodes&author=Yang Y&author=Liu Z&author=Yin Z&publication_year=2014&journal=RSC Adv&volume=4&pages=55671-55676](https://scholar.google.com/scholar?q=Rod-coating all-solution fabrication of double functional graphene oxide films for flexible alternating current (ac)-driven light-emitting diodes&author=Yang Y&author=Liu Z&author=Yin Z&publication_year=2014&journal=RSC Adv&volume=4&pages=55671-55676))
- [88] Wang X, Tian H, Mohammad MA, 他 スペクトル調整可能な全グラフェンベースの柔軟な電界効果発光デバイス. Nat Commun, 2015, 6 : 7767 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/ncomms8767>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26178323>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015NatCo...6.7767W>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=A spectrally tunable all-graphene-based flexible field-effect light-emitting device&author=Wang X&author=Tian H&author=Mohammad M A&publication_year=2015&journal=Nat Commun&volume=6&pages=7767)
- [89] Sun S, Zhuang XD, Wang LX, et al. 情報ストレージ材料、デバイス、およびパフォーマンスのためのグラフェンベースの機能材料 (中国語). ProgChem, 2016, 28 : 18-39 [Sun Sai, Zhuang Xiaodong, Wang Luxin, et al. グラフェンとその誘導体に基づく情報ストレージ: 材料、デバイス、特性. ProgressInChemistry, 2016年 : 18-39]. »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Sun S, Zhuang X D, Wang L X, et al. Graphene-based functional materials for information storage materials, devices and performance \(in Chinese\). Prog Chem, 2016, 28: 18-39 \[孙赛, 庄小东, 汪露馨, 等. 基于石墨烯及其衍生物的信息存储: 材料、器件和性能. 化学进展, 2016: 18-39\]&](https://scholar.google.com/scholar?q=Sun S, Zhuang X D, Wang L X, et al. Graphene-based functional materials for information storage materials, devices and performance (in Chinese). Prog Chem, 2016, 28: 18-39 [孙赛, 庄小东, 汪露馨, 等. 基于石墨烯及其衍生物的信息存储: 材料、器件和性能. 化学进展, 2016: 18-39]&))
- [90] 彼はCL、Zhuge F、ZhouXFなどです。酸化グラフェン薄膜の不揮発性抵抗スイッチング. Appl Phys Lett, 2009, 95 : 232101 »CrossRef (<https://doi.org/10.1063/1.3271177>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009ApPhL...95w2101H>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Nonvolatile resistive switching in graphene oxide thin films&author=He C L&author=Zhuge F&author=Zhou X F&publication_year=2009&journal=Appl Phys Lett&volume=95&pages=232101)
- [91] Zhuge F, Hu B, He C, 他 酸化グラフェン薄膜における不揮発性抵抗スイッチングのメカニズム. カーボン, 2011, 49 : 3796-3802 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.04.071>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Mechanism of nonvolatile resistive switching in graphene oxide thin films&author=Zhuge F&author=Hu B&author=He C&publication_year=2011&journal=Carbon&volume=49&pages=3796-3802)
- [92] Zhuang XD, Chen Y, Liu G, 他 共役ポリマーで官能化された酸化グラフェン: 合成と不揮発性の書き換え可能なメモリー効果 Adv Mater, 2010, 22 : 1731-1735 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.200903469>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20496405>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Conjugated-polymer-functionalized graphene oxide: Synthesis and nonvolatile rewritable memory effect&author=Zhuang X D&author=Chen Y&author=Liu G&publication_year=2010&journal=Adv Mater&volume=22&pages=1731-1735)
- [93] Yi M, Zhao L, Fan Q, 他 酸化グラフェンダイオードに基づくwrite-once-read-many-timesメモリ素子の電気的特性とキャリア輸送メカニズム J Appl Phys, 2011, 110 : 063709 »CrossRef (<https://doi.org/10.1063/1.3639287>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011JAP...110f3709Y>) »Google Scholar (https://scholar.google.com/scholar?q=Electrical characteristics and carrier transport mechanisms of write-once-read-many-times memory elements based on graphene oxide diodes&author=Yi M&author=Zhao L&author=Fan Q&publication_year=2011&journal=J Appl Phys&volume=110&pages=063709)

[94]

Yi M, Cao Y, Ling H, 他 酸化グラフェン膜に基づく抵抗変化型メモリにおける抵抗スイッチング動作の温度依存性。ナノテクノロジー、2014、25 : 185202 »CrossRef (<https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/18/185202>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24739543>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014Nanot...25r5202Y>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Temperature dependence of resistive switching behaviors in resistive random access memory based on graphene oxide film&author=Yi M&author=Cao Y&author=Ling H&publication_year=2014&journal=Nanotechnology&volume=25&pages=185202](https://scholar.google.com/scholar?q=Temperature+dependence+of+resistive+switching+behaviors+in+resistive+random+access+memory+based+on+graphene+oxide+film&author=Yi+M&author=Cao+Y&author=Ling+H&publication_year=2014&journal=Nanotechnology&volume=25&pages=185202))

[95] Liu J, Yin Z, Cao X, 他 電極として酸化グラフェンを還元したパルクヘテロ接合ポリマーメモリデバイス。ACS Nano、2010、4 : 3987-3992 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn100877s>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20540553>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Bulk heterojunction polymer memory devices with reduced graphene oxide as electrodes&author=Liu J&author=Yin Z&author=Cao X&publication_year=2010&journal=ACS Nano&volume=4&pages=3987-3992](https://scholar.google.com/scholar?q=Bulk+heterojunction+polymer+memory+devices+with+reduced+graphene+oxide+as+electrodes&author=Liu+J&author=Yin+Z&author=Cao+X&publication_year=2010&journal=ACS+Nano&volume=4&pages=3987-3992))

[96] Huang X, Zheng B, Liu Z, 他 二次元ナノ材料を有機金属フレームワークでコーティングする。ACS Nano、2014、8 : 8695-8701 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/nn503834u>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25075635>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Coating two-dimensional nanomaterials with metal-organic frameworks&author=Huang X&author=Zheng B&author=Liu Z&publication_year=2014&journal=ACS Nano&volume=8&pages=8695-8701](https://scholar.google.com/scholar?q=Coating+two-dimensional+nanomaterials+with+metal-organic+frameworks&author=Huang+X&author=Zheng+B&author=Liu+Z&publication_year=2014&journal=ACS+Nano&volume=8&pages=8695-8701))

セグメント化された柔軟なGO / rGOメモリデバイス。ACS Nano、2013、4 : 233-238 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201203349>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23109141>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Fabrication of flexible, all-reduced graphene oxide non-volatile memory devices&author=Liu J&author=Yin Z&author=Cao X&publication_year=2013&journal=Adv Mater&volume=25&pages=233-238](https://scholar.google.com/scholar?q=Fabrication+of+flexible,+all-reduced+graphene+oxide+non-volatile+memory+devices&author=Liu+J&author=Yin+Z&author=Cao+X&publication_year=2013&journal=Adv+Mater&volume=25&pages=233-238))

1 GO / rGO準備と特性

2 GO / rGO機能化

3 GO / rGO自己組織化

4 GO / rGO応用

5 まとめと展望

[97] Sun G, Liu J, Zheng L, 他 不揮発性メモリデバイス用の織可能な全炭素繊維の準備。Angew Chem Int Ed、2013、52 : 13351-13355 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/anie.201306770>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24194094>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Preparation of weavable, all-carbon fibers for non-volatile memory devices&author=Sun G&author=Liu J&author=Zheng L&publication_year=2013&journal=Angew Chem Int Ed&volume=52&pages=13351-13355](https://scholar.google.com/scholar?q=Preparation+of+weavable,+all-carbon+fibers+for+non-volatile+memory+devices&author=Sun+G&author=Liu+J&author=Zheng+L&publication_year=2013&journal=Angew+Chem+Int+Ed&volume=52&pages=13351-13355))

[99] Jo A, Seo Y, Ko M, 他 ファブリックエレクトロニクス用の織抵抗スイッチングメモリ。Adv Funct Mater、2017、27 : 1605593 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adfm.201605593>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Textile resistance switching memory for fabric electronics&author=Jo A&author=Seo Y&author=Ko M&publication_year=2017&journal=Adv Funct Mater&volume=27&pages=1605593](https://scholar.google.com/scholar?q=Textile+resistance+switching+memory+for+fabric+electronics&author=Jo+A&author=Seo+Y&author=Ko+M&publication_year=2017&journal=Adv+Funct+Mater&volume=27&pages=1605593))

[100] キムY、チョルトスA、徐W、他。バイオインスパイアードの柔軟な有機人工求心性神経。科学、2018、360 : 998-1003 »CrossRef (<https://doi.org/10.1126/science.aao0098>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29853682>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018Sci...360..998K>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=A bioinspired flexible organic artificial afferent nerve&author=Kim Y&author=Chortos A&author=Xu W&publication_year=2018&journal=Science&volume=360&pages=998-1003](https://scholar.google.com/scholar?q=A+bioinspired+flexible+organic+artificial+afferent+nerve&author=Kim+Y&author=Chortos+A&author=Xu+W&publication_year=2018&journal=Science&volume=360&pages=998-1003))

[101] Feng P, Xu W, Yang Y, 他 印刷されたカーボンナノチューブ薄膜トランジスタに基づく印刷されたニューロモルフィックデバイス。Adv Funct Mater、2017、27 : 1604447 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adfm.201604447>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Printed neuromorphic devices based on printed carbon nanotube thin-film transistors&author=Feng P&author=Xu W&author=Yang Y&publication_year=2017&journal=Adv Funct Mater&volume=27&pages=1604447](https://scholar.google.com/scholar?q=Printed+neuromorphic+devices+based+on+printed+carbon+nanotube+thin-film+transistors&author=Feng+P&author=Xu+W&author=Yang+Y&publication_year=2017&journal=Adv+Funct+Mater&volume=27&pages=1604447))

[102] キムS、チェB、リムM、他 調整可能な重量更新プロトコルを備えたカーボンナノチューブシナプストランジスタを使用したパターン認識。ACS Nano、2017、11 : 2814-2822 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acsnano.6b07894>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Pattern recognition using carbon nanotube synaptic transistors with an adjustable weight update protocol&author=Kim S&author=Choi B&author=Lim M&publication_year=2017&journal=ACS Nano&volume=11&pages=2814-2822](https://scholar.google.com/scholar?q=Pattern+recognition+using+carbon+nanotube+synaptic+transistors+with+an+adjustable+weight+update+protocol&author=Kim+S&author=Choi+B&author=Lim+M&publication_year=2017&journal=ACS+Nano&volume=11&pages=2814-2822))

[103] Yu S. 新しい不揮発性メモリを使用した神経に触発されたコンピューティング。Proc IEEE、2018、106 : 260-285 »CrossRef (<https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2790840>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Neuro-inspired computing with emerging nonvolatile memories&author=Yu S&publication_year=2018&journal=Proc IEEE&volume=106&pages=260-285](https://scholar.google.com/scholar?q=Neuro-inspired+computing+with+emerging+nonvolatile+memories&author=Yu+S&publication_year=2018&journal=Proc+IEEE&volume=106&pages=260-285))

[104] Wang L, Wang Z, Zhao W, 他 酸化グラフェン人工シナプスにおける制御可能な複数の抑制。Adv Electron Mater、2017、3 : 1600244 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/aeml.201600244>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?q=Controllable multiple depression in a graphene oxide artificial synapse&author=Wang L&author=Wang Z&author=Zhao W&publication_year=2017&journal=Adv Electron Mater&volume=3&pages=1600244](https://scholar.google.com/scholar?q=Controllable+multiple+depression+in+a+graphene+oxide+artificial+synapse&author=Wang+L&author=Wang+Z&author=Zhao+W&publication_year=2017&journal=Adv+Electron+Mater&volume=3&pages=1600244))

[105]

Lin DQ, Sun ML, Wei Y, 他 OLEDの応用のためのスピロフルオレンキサンテン (SFX) ベースの有機半導体 (中国語)。

Chin Sci Bull, 2015, 60 : 1237-1250 »CrossRef (<https://doi.org/10.1360/N972015-00232>) »Google Scholar

([https://scholar.google.com/scholar?&q=Spirofluorenexanthene \(SFX\)-based organic semiconductors for the application of OLEDs \(in Chinese\)&author=Lin D Q&author=Sun M L&author=Wei Y&publication_year=2015&journal=Chin Sci Bull&volume=60&pages=1237-1250](https://scholar.google.com/scholar?&q=Spirofluorenexanthene+(SFX)-based+organic+semiconductors+for+the+application+of+OLEDs+(in+Chinese)&author=Lin+D+Q&author=Sun+M+L&author=Wei+Y&publication_year=2015&journal=Chin+Sci+Bull&volume=60&pages=1237-1250))

[106] Yan X, Zhang L, Chen H, 他 人工シナプス学習のための漸進的伝導調整を備えた酸化グラフェン量子ドットベースのメモリスト。Adv Funct Mater, 2018, 28 : 1803728. »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Yan X, Zhang L, Chen H, et al. Graphene oxide quantum dots based memristors with progressive conduction tuning for artificial synaptic learning. Adv Funct Mater, 2018, 28: 1803728&](https://scholar.google.com/scholar?&q=Yan+X,+Zhang+L,+Chen+H,+et+al.+Graphene+oxide+quantum+dots+based+memristors+with+progressive+conduction+tuning+for+artificial+synaptic+learning.+Adv+Funct+Mater,+2018,+28:+1803728&))

[107] Wan CJ, Zhu LQ, Liu YH, 他 脳に触発された認知システムのためのプロトン伝導性酸化グラフェン結合ニューロトランジスタ。Adv Mater, 2016, 28 : 3557-3563 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201505898>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26972820>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Proton-conducting graphene oxide-coupled neuron transistors for brain-inspired cognitive systems&author=Wan C J&author=Zhu L Q&author=Liu Y H&publication_year=2016&journal=Adv Mater&volume=28&pages=3557-3563](https://scholar.google.com/scholar?&q=Proton-conducting+graphene+oxide-coupled+neuron+transistors+for+brain-inspired+cognitive+systems&author=Wan+C+J&author=Zhu+L+Q&author=Liu+Y+H&publication_year=2016&journal=Adv+Mater&volume=28&pages=3557-3563))

[108] Wan CJ, Liu YH, Feng P, 他 柔軟な導電性グラフェン基板上的柔軟な金属酸化物/酸化グラフェンハイブリッドニューロモルフイックトランジスタ。Adv Mater, 2016, 28 : 5878-5885 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201600820>) »

PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27159546>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Flexible metal oxide/graphene oxide hybrid neuromorphic transistors on flexible conducting graphene substrates&author=Wan C J&author=Liu Y H&author=Feng P&publication_year=2016&journal=Adv Mater&volume=28&pages=5878-5885](https://scholar.google.com/scholar?&q=Flexible+metal+oxide/graphene+oxide+hybrid+neuromorphic+transistors+on+flexible+conducting+graphene+substrates&author=Wan+C+J&author=Liu+Y+H&author=Feng+P&publication_year=2016&journal=Adv+Mater&volume=28&pages=5878-5885))

1 GO / rGO 準備と特性

2 GO / rGO 機能化

3 GO / rGO 自己組織化

4 GO / rGO シナプス

5 各種材料

6 各種デバイス

7 各種アプリケーション

8 各種材料

9 各種デバイス

10 各種アプリケーション

11 各種材料

12 各種デバイス

13 各種アプリケーション

14 各種材料

15 各種デバイス

16 各種アプリケーション

17 各種材料

18 各種デバイス

19 各種アプリケーション

20 各種材料

21 各種デバイス

22 各種アプリケーション

23 各種材料

24 各種デバイス

25 各種アプリケーション

26 各種材料

27 各種デバイス

28 各種アプリケーション

29 各種材料

30 各種デバイス

31 各種アプリケーション

32 各種材料

33 各種デバイス

34 各種アプリケーション

35 各種材料

36 各種デバイス

37 各種アプリケーション

38 各種材料

39 各種デバイス

40 各種アプリケーション

41 各種材料

42 各種デバイス

43 各種アプリケーション

44 各種材料

45 各種デバイス

46 各種アプリケーション

47 各種材料

48 各種デバイス

49 各種アプリケーション

50 各種材料

51 各種デバイス

52 各種アプリケーション

53 各種材料

54 各種デバイス

55 各種アプリケーション

56 各種材料

57 各種デバイス

58 各種アプリケーション

59 各種材料

60 各種デバイス

[109] Sun J, Oh S, Choi Y, 他 IGZO-アルキル化酸化グラフェンハイブリッド構造に基づく光電子シナプス。Adv Funct Mater, 2018, 28 : 1804397. »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Sun J, Oh S, Choi Y, et al. Optoelectronic synapses based on IGZO-alkylated graphene oxide hybrid structure. Adv Funct Mater, 2018, 28: 1804397&](https://scholar.google.com/scholar?&q=Sun+J,+Oh+S,+Choi+Y,+et+al.+Optoelectronic+synapses+based+on+IGZO-alkylated+graphene+oxide+hybrid+structure.+Adv+Funct+Mater,+2018,+28:+1804397&))

[110] Park Y, Park MJ, Lee JS. ウェアラブルテキスタイルデバイスアプリケーション向けの還元型酸化グラフェンベースの人工シナプスヤーン。Adv Funct Mater, 2018, 28 : 1804123 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adfm.201804123>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Reduced graphene oxide-based artificial synapse yarns for wearable textile device applications&author=Park Y&author=Park M J&author=Lee J S&publication_year=2018&journal=Adv Funct Mater&volume=28&pages=1804123](https://scholar.google.com/scholar?&q=Reduced+graphene+oxide-based+artificial+synapse+yarns+for+wearable+textile+device+applications&author=Park+Y&author=Park+M+J&author=Lee+J+S&publication_year=2018&journal=Adv+Funct+Mater&volume=28&pages=1804123))

[111] 趙F、王L、趙Y、他。水分を利用した情報ストレージに向けた酸化グラフェンナノリボンアセンブリ。Adv Mater, 2017, 29 : 1604972 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adma.201604972>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27862418>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene oxide nanoribbon assembly toward moisture-powered information storage&author=Zhao F&author=Wang L&author=Zhao Y&publication_year=2017&journal=Adv Mater&volume=29&pages=1604972](https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene+oxide+nanoribbon+assembly+toward+moisture-powered+information+storage&author=Zhao+F&author=Wang+L&author=Zhao+Y&publication_year=2017&journal=Adv+Mater&volume=29&pages=1604972))

[112] Zhang P, Li J, Lv L, 他 きれいな水の高効率の太陽熱生成のための垂直に整列したグラフェンシート膜。ACS Nano, 2017, 11 : 5087-5093 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b01965>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Vertically aligned graphene sheets membrane for highly efficient solar thermal generation of clean water&author=Zhang P&author=Li J&author=Lv L&publication_year=2017&journal=ACS Nano&volume=11&pages=5087-5093](https://scholar.google.com/scholar?&q=Vertically+aligned+graphene+sheets+membrane+for+highly+efficient+solar+thermal+generation+of+clean+water&author=Zhang+P&author=Li+J&author=Lv+L&publication_year=2017&journal=ACS+Nano&volume=11&pages=5087-5093))

[113] Thebo KH, Qian X, Zhang Q, 他。透過性に優れた安定性の高い酸化グラフェン系膜。Nat Commun, 2018, 9 : 1486 »CrossRef (<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03919-0>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29662053>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018NatCo...9.1486T>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Highly stable graphene-oxide-based membranes with superior permeability&author=Thebo K H&author=Qian X&author=Zhang Q&publication_year=2018&journal=Nat Commun&volume=9&pages=1486](https://scholar.google.com/scholar?&q=Highly+stable+graphene-oxide-based+membranes+with+superior+permeability&author=Thebo+K+H&author=Qian+X&author=Zhang+Q&publication_year=2018&journal=Nat+Commun&volume=9&pages=1486))

[114] Pérez del Pino A, González-Campo A, Giraldo S, 他 イオン液体を用いたレーザー誘起ドーピングによる水分解のためのグラフェンベースの光触媒の合成。カーボン, 2018, 130 : 48-58. »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Pérez del Pino A, González-Campo A, Giraldo S, et al. Synthesis of graphene-based photocatalysts for water splitting by laser-induced doping with ionic liquids. Carbon, 2018, 130: 48-58&](https://scholar.google.com/scholar?&q=Pérez+del+Pino+A,+González-Campo+A,+Giraldo+S,+et+al.+Synthesis+of+graphene-based+photocatalysts+for+water+splitting+by+laser-induced+doping+with+ionic+liquids.+Carbon,+2018,+130:+48-58&))

[115] Tao LQ, Zhang KN, Tian H, 他 人間の動きを検出するためのグラフェン紙圧力センサー。ACS Nano, 2017, 11 : 8790-8795 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b02826>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene-paper pressure sensor for detecting human motions&author=Tao L Q&author=Zhang K N&author=Tian H&publication_year=2017&journal=ACS Nano&volume=11&pages=8790-8795](https://scholar.google.com/scholar?&q=Graphene-paper+pressure+sensor+for+detecting+human+motions&author=Tao+L+Q&author=Zhang+K+N&author=Tian+H&publication_year=2017&journal=ACS+Nano&volume=11&pages=8790-8795))

[116] Lee SH, Lee HB, Kim Y, 他 レーザースクライブされた還元型酸化グラフェンに関する神経突起ガイダンス。Nano Lett, 2018, 18 : 7421-7427 »CrossRef (<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.8b01651>) »PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29995427>) »ADS (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018NanoL...18.7421L>) »Google

Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Neurite guidance on laser-scribed reduced graphene oxide&author=Lee S H&author=Lee H B&author=Kim Y&publication_year=2018&journal=Nano Lett&volume=18&pages=7421-7427](https://scholar.google.com/scholar?&q=Neurite+guidance+on+laser-scribed+reduced+graphene+oxide&author=Lee+S+H&author=Lee+H+B&author=Kim+Y&publication_year=2018&journal=Nano+Lett&volume=18&pages=7421-7427))

[117] Gu X, Ning Y, Yang Y, 他 ドラッグデリバリー用の油滴を含む多孔質グラフェンベースのヒドロゲルのワンステップ合成。RSC Adv, 2014, 4 : 3211-3218 »CrossRef (<https://doi.org/10.1039/C3RA44993A>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=One-step synthesis of porous graphene-based hydrogels containing oil droplets for drug delivery&author=Gu X&author=Ning Y&author=Yang Y&publication_year=2014&journal=RSC Adv&volume=4&pages=3211-3218](https://scholar.google.com/scholar?&q=One-step+synthesis+of+porous+graphene-based+hydrogels+containing+oil+droplets+for+drug+delivery&author=Gu+X&author=Ning+Y&author=Yang+Y&publication_year=2014&journal=RSC+Adv&volume=4&pages=3211-3218))

[118] Kuang B, Song W, Ning M, 他 還元型酸化グラフェンの化学還元依存誘電特性と誘電損失メカニズム。カーボン, 2018, 127 : 209-217 »CrossRef (<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.10.092>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemical reduction dependent dielectric properties and dielectric loss mechanism of reduced graphene oxide&author=Kuang B&author=Song W&author=Ning M&publication_year=2018&journal=Carbon&volume=127&pages=209-217](https://scholar.google.com/scholar?&q=Chemical+reduction+dependent+dielectric+properties+and+dielectric+loss+mechanism+of+reduced+graphene+oxide&author=Kuang+B&author=Song+W&author=Ning+M&publication_year=2018&journal=Carbon&volume=127&pages=209-217))

[119] Gao Y, Wan Y, Wei B, 他 高性能酸化グラフェンベースの全固体スーパーキャパシタの容量性増強メカニズムと設計原理。Adv Funct Mater, 2018, 28 : 1706721 »CrossRef (<https://doi.org/10.1002/adfm.201706721>) »Google Scholar ([https://scholar.google.com/scholar?&q=Capacitive enhancement mechanisms and design principles of high-performance graphene oxide-based all-solid-state supercapacitors&author=Gao Y&author=Wan Y&author=Wei B&publication_year=2018&journal=Adv Funct Mater&volume=28&pages=1706721](https://scholar.google.com/scholar?&q=Capacitive+enhancement+mechanisms+and+design+principles+of+high-performance+graphene+oxide-based+all-solid-state+supercapacitors&author=Gao+Y&author=Wan+Y&author=Wei+B&publication_year=2018&journal=Adv+Funct+Mater&volume=28&pages=1706721))

セクションナビゲーション
1 GO / rGO準備と特性
2 GO / rGO機能化
3 GO / rGO自己組織化
4 GO / rGOインテリジ...
5まとめと展望

連絡とサポート

©2018-2021China Science and Technology Publishing &Media Co., Ltd. 無断複写・転載を禁じます

北京ICPNo.14028887-24 (<https://beian.miit.gov.cn/#/Integrated/index>)



北京パブリックネットワークセキュリティNo.11010102004460 (<http://www.beian.gov.cn/portal/registerSystemInfo?recordcode=11010102004460>)