



# nature.com クイックユーザーガイド



## ホームページ

ドロップダウンメニューを開く

検索  
個人アカウントの登録、  
メールアラートサービスや  
個人購読の管理

トップニュースを定期的に更新

表紙の写真をクリックして  
Nature 最新号の目次、  
あるいはバックナンバーへ

Nature Research ジャーナルのお勧め記事

更に News & Comment,  
Latest Reviews & Analysis,  
Latest Research が下に続きます

ドロップダウンメニューを閉じる

ドロップダウンメニューを開くと  
左記画面が表示されます

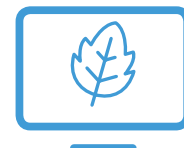
著者・査読者向け情報／投稿規程／  
Nature Research 各種賞／  
個人購読／アラート／論文投稿

特定の号やコレクション  
(トピックごとの記事) へ

分野

Trending (話題の記事)  
その日、オンライン上で最もシェアされ、  
ポジティブな反応を集め、話題に上った記事  
を紹介しています。引用数、SNSでのシェ  
ア数、ブログやニュースで言及された数な  
どをアルトメトリックにより追跡しています

## 論文ページ



nature > letters > article

a natureresearch journal

MENU **nature** Search E-alert Submit My Account

Letter | Published: 26 June 2019

## Living annulative $\pi$ -extension polymerization for graphene nanoribbon synthesis

Yuuta Yano, Nobuhiko Mitoma, Kaho Matsushima, Feijiu Wang, Keisuke Matsui, Akira Takakura, Yuhei Miyauchi, Hideto Ito & Kenichiro Itami

Nature 571, 387–392 (2019) | Download Citation | この記事を引用  
15k Accesses | 11 Citations | 60 Altmetric | Metrics

### Abstract

The properties of graphene nanoribbons (GNRs)<sup>1,2,3,4,5</sup>—such as conductivity or semiconductivity, charge mobility and on/off ratio—depend greatly on their width, length and edge structure. Existing bottom-up methods used to synthesize GNRs cannot achieve control over all three of these parameters simultaneously, and length control is particularly challenging because of the nature of step-growth polymerization<sup>6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18</sup>. Here we describe a living annulative  $\pi$ -extension (APEX)<sup>19</sup> polymerization technique that enables rapid and modular synthesis of GNRs, as well as control over their width, edge structure and length. In the presence of palladium/silver salts, *o*-chloranil and an initiator (phenanthrene or diphenylacetylene), the benzonaphthosilole monomer polymerizes in an annulative manner to furnish fjord-type GNRs. The length of these GNRs can be controlled by simply changing the initiator-to-monomer ratio, achieving the synthesis of GNR block copolymers. This method represents a type of direct C–H arylation polymerization<sup>20</sup> and ladder polymerization<sup>21</sup>, activating two C–H bonds of polycyclic aromatic hydrocarbons and constructing one fused aromatic ring per chain propagation step.

### Main

To achieve full synthetic control over the structures of GNRs, we must draw inspiration from organic synthesis, where a target molecular entity is built up with atom-by-atom precision<sup>7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18</sup>. Müllen<sup>10,11,12,13,14</sup>, Fasel<sup>11,13,14</sup> and others<sup>11,13,14,15,16,17,18</sup> have reported bottom-up synthetic approaches, such as the solution-phase Suzuki–Miyaura coupling polymerization<sup>10,18</sup>, the Diels–Alder polymerization<sup>12</sup> and on-surface polymerization<sup>11,13,14,15,17</sup> of small aromatic components to form polyarylene precursors, which are stitched into GNRs by cyclodehydrogenation (Scholl reaction). These methods have received considerable attention owing to their high potential of controlling the width (~1 nm) and edge structures of GNRs, especially with respect to top-down synthesis by lithographic cutting of graphene or unzipping of carbon nanotubes<sup>6,7,8,9</sup>. Whereas the width and edge structures can be controlled precisely in solution-phase syntheses, precise length control of GNRs is yet to be achieved. The same is true for on-surface GNR synthesis, where length control remains an unresolved issue<sup>11,13,14,15</sup>.

この記事のインパクト

この記事を引用

PDFで読む

図表・参考文献

各記事へのショートカット

Sections

- Abstract
- Main
- Methods
- Data availability
- References
- Acknowledgements
- Author information
- Ethics declarations
- Additional information
- Extended data figures and tables
- Supplementary information
- Rights and permissions
- About this article
- Further reading
- Comments

Sectionsには、様々なタイプの情報が含まれます。以下は一例です

- Abstract: 抄録
- Main: メイン記事
- Methods: メソッド
- Data availability: データの入手可否 (FigshareやBioProjectなどのレポジトリへ)
- Code availability: コード入手可否: (Code Ocean、FigshareやGitHubなどへ)
- References: 参考文献
- Acknowledgements: 謝辞
- Author information: 著者情報
- Ethics declarations: 開示する倫理情報
- Additional information: 補足情報
- Extended data figures and tables: さらなるデータや図表
- Supplementary information: 補完資料: ビデオや音声、pptなど
- Rights and permissions: 転載許可 (RightsLink)
- About this article: この記事について (受理・出版日、DOI、共有リンク)
- Further reading: 関連文献
- Comments: コメント (ガイドラインを守ったうえでのコメントが可能) <https://www.nature.com/info/community-guidelines>

抄録からフルテキストHTMLへ

様々なタイプの記事を掲載しています。以下は一例です

- Research/Article: オリジナル研究論文
- Letter: オリジナル研究論文の短いレポート
- News & Commentary: Nature Researchの編集者が執筆
- Correspondence: 編集部への手紙
- Obituaries: 追悼記事
- Commentary: 科学に関する時事問題やその影響について行動を求める記事
- Books & Arts: 書評や読者にとって関心が高い美術展や文化イベント
- Futures: SFのセクション
- News & Views: 専門外の読者向けの新しい科学的進展に関する情報
- Review and Perspectives: Reviewsはある分野の一つの時事的側面にフォーカスしたレビュー記事。Perspectivesはあるアイデアやトピックを個人的見地から議論する場
- Analysis: オリジナルのデータではなくレビューベース。既存データの分析記事
- Technology Features: 動きの早い研究領域の手法や技術を検討
- Outlooks: Nature本誌のサブメント。ニュース、特集、オピニオン

## 検索



検索ボックスを表示

キーワードを入力

詳細検索へ

## 詳細検索

キーワード

著者名

文献タイトル

## 検索結果

クリックして記事全文を表示

関連性、記事の種類、ジャーナル、日付を条件に、検索結果を絞り込み

サマリ

関連項目のリンク

転載許可(RightsLinkに移動)

個人登録



個人購読の管理やNature Research 関連誌の最新情報を受け取るには、アラートメールが便利です

すでに登録済みの場合はこちらからログイン

自身の連絡先を入力

創刊ジャーナルやキャンペーン情報をNature Researchから受け取る

Nature Research以外の第三者から自身の登録情報に関連した情報を受け取る

上記を入力すると、登録メールアドレスにリンクが届き、続きを入力します

アラート登録ページに進みます。適宜登録し、Saveをクリックします

ホームページ最下部 : Nature Researchに関連する様々な情報へのリンクがあります

Nature Research について

著者、レビュアーへのガイド、編集方針など出版に関する情報

英語文献執筆サポート

日本語コンテンツはnatureasia.comへ

A to Zリスト

ナノテクノロジー研究のリサーチソリューション