University of Groningen

Charge and spin transport in two-dimensional materials and their heterostructures

Bettadahalli Nandishaiah, Madhushankar

DOI:
10.33612/diss.135800814

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2020

Link to publication in University of Groningen/UMCG research database

Citation for published version (APA):
Bettadahalli Nandishaiah, M. (2020). *Charge and spin transport in two-dimensional materials and their heterostructures.* University of Groningen. https://doi.org/10.33612/diss.135800814

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): http://www.rug.nl/research/portal. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Download date: 19-09-2021

ಸಾರಾಂಶ

ಇಂದು, ನಾವು ಹಲವಾರು ವಿದ್ಯುತ್ ಗ್ಯಾಜೆಟ್‌ಗಳಿಂದ ತುಂಬಿದ ಹೈಟೆಕ್ ಜಗತ್ತಿನಲ್ಲಿ ವಾಸಿಸುತ್ತಿದ್ದೇವೆ: ಅದು ತುಂಬಾ ಚಿಕ್ಕ ದೂರವಾಣಿ ಅಥವಾ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರದರ್ಶನ ಟೆಲಿವಿಷನ್ ಸೆಟ್ ಆಗಿರಬಹುದು. ಈ ಹೆಚ್ಚಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಗ್ಯಾಜೆಟ್‌ಗಳಲ್ಲಿನ ಮೂಲ ಬಿಲ್ಡಿಂಗ್ ಬ್ಲಾಕ್ ಫೀಲ್ಡ್ ಎಫೆಕ್ಟ್ ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್ (ಎಫ್‌ಇಟಿ) ಆಗಿದೆ. ಎಫ್‌ಇಟಿ ಎನ್ನುವುದು ಗೇಟ್, ಸೋರ್ಸ್ ಮತ್ತು ಡ್ರೈನ್ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಮೂರು-ಟರ್ಮಿನಲ್ ಸಾಧನವಾಗಿದೆ. ಇಲ್ಲಿ, ಅರೆವಾಹಕವು ಸೋರ್ಸ್ ಮತ್ತು ಡ್ರೈನ್ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರ ನಾಲೆಗಳ ನಡುವೆ ಸಂಪರ್ಕ ಹೊಂದಿದೆ ಮತ್ತು ಅರೆವಾಹಕ ಚಾನಲ್ ಅನ್ನು ಗೇಟ್‌ಗೆ ಕೆಪ್ಯಾಸಿಟಿವ್ ಕಪ್ಲಿಂಗ್ ಅನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಎಫ್‌ಇಟಿಯ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಯು ವಿದ್ಯುದ್ವಾರ ನಾಲೆಗಳಿಂದ ಅರೆವಾಹಕ ಚಾನಲ್ ಮೂಲಕ (ಸೋರ್ಸ್ ಮತ್ತು ಡ್ರೈನ್ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರ ನಾಲೆಗಗಳ ನಡುವೆ) ಹರಿಯುವ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ನಿಯಂತ್ರಣವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿದೆ. ಅರೆವಾಹಕ ಚಾನಲ್ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಇಲ್ಲದನ್ನು '0' ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ, ಮತ್ತು ಸ್ಥಿರ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ, '1' ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ, ಇದು ವಿದ್ಯುತ್ ಗ್ಯಾಜೆಟ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಹಿತಿಯನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಲು ಅಥವಾ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡಲು, ಬಳಸುವ ಬೈನರಿ ಬಿಟ್‌ಗಳನ್ನು ವ್ಯಾಖ್ಯಾನಿಸಲು ಆಧಾರವಾಗಿದೆ.

ಕಳೆದ 30 ವರ್ಷಗಳಿಂದ, ಮೂರ್ನ ಸಿದ್ಧಾಂತವು, ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆ ಸುಧಾರಣೆ, ಅಳೆಯುವಲ್ಲಿ, ಅರೆವಾಹಕ ಉದ್ಯಮವನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸಿದೆ. ಇದರಿಂದಾಗಿ ನಮ್ಮ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಗ್ಯಾಜೆಟ್‌ಗಳು ವೇಗವಾಗಿ ಮತ್ತು ಚಿಕ್ಕದಾಗಬಹುದು. ಮೂರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಇಂಟಿಗ್ರೇಟೆಡ್ ಸರ್ಕ್ಯೂಟ್ (ಐಸಿ) ಯಲ್ಲಿನ ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಪ್ರತಿ ಎರಡು ವರ್ಷಗಳಿಗೊಮ್ಮೆ ದ್ವಿಗುಣಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದಾಗಿ ಐಸಿಯಲ್ಲಿ, ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಾಂದ್ರತೆ, ವೇಗವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆ, ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಯ ಕಡಿಮೆ ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಐಸಿ ತಯಾರಿಕೆ ಕಡಿಮೆ ವೆಚ್ಚವನ್ನು ಸುಗಮಗೊಳಿಸುತ್ತದೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಕಳೆದ ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ, ಕಡಿಮೆ ಅರೆವಾಹಕ ಚಾನಲ್‌ನ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಎಫ್‌ಇಟಿಯ ಸೋರ್ಸ್ - ಡ್ರೈನ್ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರ ನಾಲೆಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಸೋರಿಕೆ (ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಹರಡುವಿಕೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ) ನಂತಹ ಸವಾಲುಗಳ ಕಾರಣದಿಂದಾಗಿ,ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆ ಸುಧಾರಣೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಚಣೆಯನ್ನು ಎದುರಿಸುತ್ತಿದ್ದೇವೆ. ಅರೆವಾಹಕ ಚಾನಲ್‌ಗಾಗಿ ಅಂತರರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ (ಐಟಿಆರ್‌ಎಎಸ್) ಪ್ರಕಾರ - ಹೊಸ ಚಾನಲ್ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಅನ್ವೇಷಿಸುವುದು ಅಥವಾ ಪರ್ಯಾಯ ತರ್ಕದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಹೊಸ ಸಾಧನಗಳು ಅನ್ವೇಷಿಸುವುದು ಅಥವಾ ಇವೆರಡರ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಅಗತ್ಯವಿದೆ. ಈ ಪ್ರಬಂಧದಲ್ಲಿ, ಈ ಎರಡೂ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ; ಎರಡು ಆಯಾಮದ (2ಡಿ) ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ತರ್ಕವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಲು ಮತ್ತು ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡಲು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸ್ಪಿನ್‌ಅನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಹೊಸ ಸಾಧನ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಪ್ರಸ್ತುತಪಡಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಸಂಶೋಧನಾ ಪ್ರಬಂಧದಲ್ಲಿ ಬಳಸಲಾದ 2ಡಿ ವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲ ರಚನಾತ್ಮಕ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಗುಣ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಾಯ 2 ರಲ್ಲಿ ಪರಿಚಯಿಸಲಾಗಿದೆ. 3ನೇ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ, 2 ಡಿ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಮತ್ತು ಪರಿಭ್ರಮಣೆ (ಸ್ಪಿನ್) ಸಾಗಣೆಯನ್ನು ಅರ್ಥ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಅಗತ್ಯವಾದ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಗಳನ್ನು ಚರ್ಚಿಸಲಾಗಿದೆ. 4ನೇ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ, ಈ ಪ್ರಬಂಧದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದ 2ಡಿ ವಸ್ತುಗಳ ಎಫ್‌ಇಟಿ ಮತ್ತು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ

ಪದರುಗಳನ್ನು (ಹೆಟಿರೋಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್) ತಯಾರಿಸುವ ಪ್ರೋಟೋಕಾಲ್ ಅನ್ನು ಪ್ರಸ್ತುತಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹೆಚ್ಚುವರಿಯಾಗಿ, 2 ಡಿ ಪದರಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪದರುಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲು ಬಳಸುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತೀಯ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಿದ್ಧತೆಗಳು ಮತ್ತು ತಂತ್ರಗಳನ್ನು ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತವಾಗಿ 4ನೇ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಸ್ಕೇಲಿಂಗ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ, ತೆಳುವಾದ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಡೈಎಲೆಕ್ಟ್ರಿಕ್ ಮತ್ತು ತೆಳುವಾದ ದ್ವಾರ ನಿಯಂತ್ರಿತ ಚಾನಲ್ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಫ್ಇಟಿ, ಸಣ್ಣ-ಚಾನಲ್‌ಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳ ವಿರುದ್ಧ ಬಹಳ ಕಡಿಮೆ ಗೇಟ್ ಉದ್ದದವರೆಗೆ ದೃಢವಾಗಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಬಹುದು ಎಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಒಂದು ಪದರದ 2ಡಿ ವಸ್ತುವಿನ ಚಾನೆಲ್ ಮತ್ತು ಆಕ್ಸೈಡ್, ಹೊಸ ಪೀಳಿಗೆಯ ಎಫ್ಇಟಿಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಲು ಬಹಳ ಆಕರ್ಷಕವಾಗಿದೆ. 2004 ರಲ್ಲಿ, ಆಂಡ್ರೆ.ಕೆ.ಗೀಮ್ ಮತ್ತು ಕೆ.ಎಸ್.ನೊವೊಸೆಲೋ ರವರು ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಬಾರಿಗೆ 2ಡಿ ವಸ್ತುವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು, ದುರ್ಬಲವಾದ ವ್ಯಾಂಡರ್ ವಾಲ್ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಮಾಣವಾಗಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಸಂಭವಿಸುವ ಪರಮಾಣು ತೆಳುವಾದ ಪದರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ, ಗ್ರಾಫೀನ್, ಇದನ್ನು ಕೇವಲ ಸ್ಕಾಚ್ ಟೇಪ್ ಬಳಸಿ ಏಕಪದರಗಳಾಗಿ ವಿಭಜಿಸಬಹುದು. ಗ್ರಾಫೀನ್ ಅತ್ಯುತ್ತಮ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ ಚಲನಶೀಲತೆಗೆ ಹೊಂದಿದೆ ; ಆದರೆ, ಇದು ,ಇನ್ನೂ ಬ್ಯಾಂಡ್ ಗ್ಯಾಪ್‌ನ್ನು ಹೊಂದಿಲ್ಲ, ಅದು ಎಫ್ಇಟಿಯ ಆನ್ ಮತ್ತು ಆಫ್ ಅನ್ನು ಸಾಧಿಸಲು ಅಗತ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬ್ಯಾಂಡ್ ಗ್ಯಾಪ್ ನೊಂದಿಗೆ ಇತರ 2ಡಿ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಂಶ್ಲೇಷಿಸುವ ಅನ್ವೇಷಣೆಯಲ್ಲಿ ಗ್ರೀಸ್ ನ ಅಯೋನಿನಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ನಮ್ಮ ಸಹಯೋಗಿಗಳು ಜರ್ಮನೇನ್ (Germanane) ಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವಲ್ಲಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದ್ದಾರೆ; ಇದರಲ್ಲಿ, ಟೊಪೊಕೆಮಿಕಲ್ ಡಿ-ಇಂಟರ್ಕಲೇಷನ್ ಮೂಲಕ ಅವರು $CaGe_2$ ಹರಳುಗಳಲ್ಲಿ Ca ನೊಂದಿಗೆ H ಅನ್ನು ಬದಲಿಸಿದರು. ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ವಿಶ್ವದ ಮೊದಲ 2ಡಿ ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಯನ್ನು 5 ನೇ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸ್ತುತಪಡಿಸಿದಂತೆ ನೆದರ್ಲ್ಯಾಂಡ್‌ನ ಗ್ರೊನಿಂಗೆನ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಿ ಮತ್ತು ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಯನ್ನು ತಯಾರಿಸಲು, 60 nm ದಪ್ಪವಿರುವ ಬಹು-ಪದರದ ಜರ್ಮನೇನ್ ಅನ್ನು ಸೀಳಿಸಿ ಸಿಲಿಕಾನ್ ಡೈ-ಆಕ್ಸೈಡ್ ತಲಾಧಾರದ ಮೇಲೆ ಇರಿಸಲಾಯಿತು. ನಂತರ, ಚಿನ್ನದ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪನ ಸರ್ಕ್ಯೂಟ್‌ನೊಂದಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ ಜರ್ಮನೇನ್ ಮೇಲೆ ಸಂಗ್ರಹಿಸಲಾಯಿತು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಹೋಲ್-ಡೋಪ್ ಪ್ರಭುತ್ವಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ, ಅಂದರೆ ಅಂಬಿಪೋಲಾರ್ ಚಾರ್ಜ್ ಟ್ರಾನ್ಸ್‌ಪೋರ್ಟ್ ಗಮನಿಸಲಾಯಿತು. ಗೇಟ್‌ನಾದ್ಯಂತ ಅನ್ವಯಿಸಲಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಪಕ್ಷಪಾತವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುವ ಮೂಲಕ ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಯಲ್ಲಿನ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ, ಆನ್(ಹರಿಯುವುದು)/ಆಫ್(ಹರಿಯುವುದಿಲ್ಲ) ಪ್ರಸ್ತುತ ಅನುಪಾತವನ್ನು 10^4 ವರೆಗೆ ನೀಡುತ್ತದೆ, ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ ಚಲನಶೀಲತೆ 70 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ ರವರೆಗೆ, ಕೋಣೆಯ ಉಷ್ಣಾಂಷದಲ್ಲಿ ನೀಡುತ್ತದೆ. ಸೂಕ್ತದ ಆಂಬಿಪೋಲಾರ್ ಚಾರ್ಜ್ ಟ್ರಾನ್ಸ್‌ಪೋರ್ಟ್ ಮತ್ತು ಹೈ ಆನ್/ಆಫ್ ಕರೆಂಟ್ ಅನುಪಾತ ಎರಡೂ ಇರುವುದರಿಂದ , ಮೆಟಲ್ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಸೆಮಿಕಂಡಕ್ಟರ್ (ಸಿಎಂಓಎಸ್) ಸರ್ಕ್ಯೂಟ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಲು ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

ಚಿನ್ನ/ಜರ್ಮನೇನ್ನಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ರೋಧಕ ಷಾಟ್ ಕೀ ತಡೆಗೋಡೆ (ಅರೆವಾಹಕವನ್ನು ಲೋಹದೊಂದಿಗೆ ನೇರ ಸಂಪರ್ಕಕ್ಕೆ ತಂದಾಗ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ) ರಚನೆಯಿಂದಾಗಿ, ಜರ್ಮನೇನ್ ಯಲ್ಲಿನ ಚಿನ್ನದ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರಗಳ

ಕೆಳಗಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಹರಿವು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗಿ ಪರಿಣಾಮ ಬೀರಿದೆ ಎಂದು ಗಮನಿಸಲಾಗಿದೆ. ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಗಳಿಂದ ಉತ್ತಮ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಷಾಟ್ ಕೀ ತಡೆಗೋಡೆ ಕಡಿಮೆ ಮಾಡುವುದು ಮುಂದಿನ ತನಿಖೆಯ ಪ್ರಮುಖ ಸವಾಲುಗಳು. ಜರ್ಮನೇನ್ ಬ್ಯಾಂಡ್ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ನೇರಬ್ಯಾಂಡ್ ಗ್ಯಾಪ್ ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಯಲ್ಲಿ 650 nm ತರಂಗಾಂತರದ ಕೆಂಪು ಲೇಸರ್ ಅನ್ನು ಹೊಳೆಯುವುದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತದೆ. ಇದಲ್ಲದೆ, ಕೆಂಪುಲೇಸರ್ ಅನ್ನು ಆನ್ ಮತ್ತು ಆಫ್ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಮಿಲಿ ಸೆಕೆಂಡುಗಳ ಸಮಯದ ಮಟ್ಟಿಗೆ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಬದಲಾಯಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ; ಬಳಸಿದ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹ ಸರ್ಕ್ಯೂಟ್ ಸೀಮಿತ ಬ್ಯಾಂಡ್‌ವಿಡ್ತ್ ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ನೈಜ ಸಮಯದ ಪ್ರಮಾಣವು ಮಿಲಿ ಸೆಕೆಂಡುಗಳಿಗಿಂತ ವೇಗವಾಗಿರುತ್ತದೆ ಎಂದು ನಿರೀಕ್ಷಿಸಲಾಗಿದೆ (GaAs ಗಳಂತಹ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳಲ್ಲಿ ಬ್ಯಾಂಡ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ 1 ns ಗಿಂತ ವೇಗವಾಗಿರುತ್ತದೆ). ಜರ್ಮನೇನ್ ಎಫ್ಇಟಿಯಲ್ಲಿನ ಆಪ್ಟೊಎಲೆಟ್ರೊನಿಕ್ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ ನಮ್ಮ ಅವಲೋಕನವು ಫೋಟೊಡಿಯೋಡ್ಗಳು, ಫೋಟೊಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್‌ಗಳು ಮುಂತಾದ ಆಪ್ಟೊಎಲೆಟ್ರೊನಿಕ್ ಅಪ್ಲಿಕೇಶನ್ ಗಳಲ್ಲಿ ಭರವಸೆಯ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಒಂದು ಸಬ್ ಆಟೋಮಿಕ್ ಕಣವಾಗಿದ್ದು, ಇದು ಚಾರ್ಜ್ ಮಾಹಿತಿಯನ್ನು ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ಸ್ಪಿನ್ ಎಂಬ ಅಂಗುಲರ್ ಮೊಮೆಂಟುಮ್ ಸಹ ಒಳಗೊಂಡಿದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನ ಸ್ಪಿನ್ ದೃಷ್ಟಿಕೋನ ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ, '1' ಮತ್ತು '0' ತರ್ಕ ಸ್ಥಿತಿಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ಇನ್-ಪ್ಲೇನ್ ಅಥವಾ ಔಟ್-ಆಫ್-ಪ್ಲೇನ್ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನ ಸ್ಪಿನ್ ಅಂಶವನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಂಡು ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಅನ್ನು ಸ್ಪಿನ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ, ಇದನ್ನು ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತವಾಗಿ ಸ್ಪಿಂಟ್ರೋನಿಕ್ಸ್ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನ ಸ್ಪಿನ್ ಬದಲಾಯಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯು, ತುಲನಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಕಡಿಮೆ ಇರುವುದರಿಂದ ಮತ್ತು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಚಾರ್ಜ್-ಆಧಾರಿತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಿಂತ ಸ್ವಿಚಿಂಗ್ ವೇಗವು, ವೇಗವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಸ್ಪಿಂಟ್ರೋನಿಕ್ಸ್ ಕಡಿಮೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆ ಮತ್ತು ವೇಗವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸುವ ಸಮಯವನ್ನು ನೀಡುತ್ತದೆ.

ಸ್ಪಿನ್-ಎಫ್ಇಟಿ, ಗೇಟ್ ಟ್ಯೂನಿಂಗ್ ಮೂಲಕ, ಸ್ಪಿನ್ ಸಾರಿಗೆಯನ್ನು ಟ್ಯೂನಿಂಗ್ ಪಡೆಯುವುದು ಸ್ಪಿಂಟ್ರೋನಿಕ್ಸ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಅಂತಿಮ ಗುರಿಯಾಗಿದೆ. ಈ ನಿಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ, ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನಲ್ಲಿ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಫಿಕ್ ಸ್ಪಿನ್-ಆರ್ಬಿಟ್ ಕಪ್ಲಿಂಗ್ (ಎಸ್ಒಸಿ) ಯನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸಲು ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನ ಸಾಮೀಪ್ಯದಲ್ಲಿ ಟ್ರಾನ್ಸಿಷನ್ ಮೆಟಲ್ಸಾ ಡಿ-ಚಾಲ್ಕೊಜೆನೈಡ್ಗಳನ್ನು (ಟಿಎಂಡಿ) ಬಳಸುವ ಬಗ್ಗೆ ಹಲವಾರು ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ಮುನ್ಸೂಚನೆಗಳು ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಬಂದಿವೆ. ಮೇಲಿನ ಹೆಚ್ಚುವರಿ ವಸ್ತುಗಳೊಂದಿಗೆ ಎಫ್ಇಟಿ ನಲ್ಲಿ, ಗೇಟ್‌ನಾದ್ಯಂತ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೂಲಕ ,ಪ್ರೇರಿತ ಎಸ್ಒಸಿಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು ಎಂದು ಭವಿಷ್ಯತ್‌ನಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನಲ್ಲಿ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು ಅವಕಾಶ ಮಾಡಿಕೊಡುತ್ತದೆ. ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕವಾಗಿ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ, ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಗ್ರ್ಯಾಫೀನ್‌ನಲ್ಲಿನ ದೂರದ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆ ಮತ್ತು ಗೇಟ್‌ನಾದ್ಯಂತ ಅನ್ವಯಿಸಲಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೂಲಕ, ಗ್ರ್ಯಾಫೀನ್‌ನಲ್ಲಿ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆಯನ್ನು ಟ್ಯೂನ್ ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದೊಂದಿಗೆ, ಟಿಎಂಡಿ-ಗ್ರ್ಯಾಫೀನ್ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ ಸ್ಪಿನ್-ಎಫ್ಇಟಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆ.ಈ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ, ನಾವು SiO_2 ತಲಾಧಾರದ ಮೇಲೆ ಏಕ ಮತ್ತು ದ್ವಿ-ಪದರದ ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನೊಂದಿಗೆ, WSe_2 ಮತ್ತು WS_2 ನಂತಹ ವಿವಿಧ ಟಿಎಂಡಿ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿದ್ದೇವೆ ಮತ್ತು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್‌ಗಳನ್ನು

ಫೆರೋಮ್ಯಾಗ್ನೆಟಿಕ್ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರಗಳಿಂದ ಸಂಪರ್ಕಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ, ಇದರ ಮ್ಯಾಗ್ನೆಟೈಝೆಷನ್ ದಿಕ್ಕನ್ನು ಬಾಹ್ಯ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೂಲಕ ನಿಯಂತ್ರಿಸಬಹುದು, ಇದರಿಂದಾಗಿ ಇನ್-ಪ್ಲೇನ್ ಅಥವಾ ಔಟ್-ಆಫ್-ಪ್ಲೇನ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗ್ರ್ಯಾಫೀನ್‌ಗೆ ಹಾದುಹೋಗಬಹುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ 6 ರಲ್ಲಿ, ಸಿಂಗಲ್-ಲೆಯರ್ ಅರ್ಥ ಏಕ ಪದರದ ಗ್ರಾಫೀನ್ (ಎಸ್ಎಲ್‌ಜಿ) ಮೇಲಿನ ಮಲ್ಟಿ ಲೇಯರ್ WSe_2 ನ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ ಅನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ, ಇದರಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫಿನ್‌ನ ಒಂದು ಭಾಗವನ್ನು WSe_2 ಆವರಿಸಿದೆ. ಈ ಪ್ರದೇಶ , ಇನ್ ಪ್ಲೇನ್ ($\tau_{\parallel}$ ಇನ್ ಪ್ಲೇನ್ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಿತಾವಧಿ) ಮತ್ತು ಔಟ್ ಆಫ್ ಪ್ಲೇನ್ ($\tau_{\perp}$ ಔಟ್ ಆಫ್ ಪ್ಲೇನ್ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಿತಾವಧಿ) ಸ್ಪಿನ್ಸ್ ಸಾರಿಗೆ ಜೀವಿತಾವಧಿ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿ ಅನುಪಾತವನ್ನು ಗಮನಿಸಲಾಯಿತು, $\tau_{\perp}/\tau_{\parallel}$= 3.5. WSe_2 ಆವರಿಸಿದ ಗ್ರಾಫೀನ್ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ, ಇನ್-ಪ್ಲೇನ್ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆಯ ಸ್ಥಳೀಯವಲ್ಲದ ರೋಧಕವನ್ನು, (ಆರ್ಎನ್ಎಲ್) ಗೇಟ್ ನಾದ್ಯಂತ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೂಲಕ ಟ್ಯೂನ್ ಮಾಡಬಹುದೆಂದು ನಾವು ಗಮನಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಇನ್-ಪ್ಲೇನ್ ಆರ್ಎನ್ಎಲ್ ನಲ್ಲಿನ ಬದಲಾವಣೆಯು, ಎಸ್ಒಸಿಯ ಬದಲಾವಣೆ ಅಥವಾ ಗ್ರಾಫಿನ್/WSe_2 ಇಂಟರ್ ಸ್ಪೇಸ್‌ನಲ್ಲಿ ಸ್ಪಿನ್ ರೋಧಕ ಬದಲಾವಣೆಯಿಂದಾಗಿ ಎಂಬುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಲ್ಲ; ಆದ್ದರಿಂದ, ಇದಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಅಗತ್ಯವಿದೆ. ಕುತೂಹಲಕಾರಿಯಾಗಿ, WSe_2ನಿಂದ ಆವರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಗ್ರಾಫೀನ್ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬರುವ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಮಾನದ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಯ ಪರಿಣಾಮವು, WSe_2 ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಗ್ರಾಫೀನ್ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಅನ್ವೇಷಿಸಬಲ್ಲ ವಾಹಕಗಳ ಸ್ಪಿನ್‌ಗಳ ಪ್ರಸರಣ ಸ್ವಭಾವದಿಂದಾಗಿ, WSe_2 ವ್ಯಾಪ್ತಿಗೆ ಒಳಪಡದ ನೆರೆಯ ಗ್ರಾಫೀನ್‌ಲ್ಲಿಯೂ ಸಹ ಗಮನಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಗ್ರಾಫೀನ್ ನ WSe_2 ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು 3 μm ಗಿಂತ ಉದ್ದವಾಗಿದ್ದಾಗ, WSe_2 ಆವರಿಸಿದ ಗ್ರಾಫೀನ್ ಪ್ರದೇಶದಾದ್ಯಂತ ಯಾವುದೇ ಪ್ಲೇನ್ ನಲ್ಲಿ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆ ಕಂಡುಬಂದಿಲ್ಲ, ಇದು ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನಲ್ಲಿ WSe_2ನಿಂದ ಪ್ರಚೋದಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಎಸ್ಒಸಿಯ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಮಲ್ಟಿ-ಲೇಯರ್ WSe_2 ಅನ್ನು ಗ್ರಾಫೀನ್ಗೆ ಸ್ಪಿನ್ ಇಂಜೆಕ್ಷನ್ ಗಾಗಿ ಮಧ್ಯಂತರ ಪದರವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ; ಇದು ಗ್ರಾಫೀನ್‌ಗೆ ಸ್ಪಿನ್ ಇಂಜೆಕ್ಷನ್‌ಗಾಗಿ ತನ್ನೆಲ್ ಬ್ಯರಿಯರ್ ಯಾಗಿ ಟಿಎಂಡಿಯನ್ನು ಬಳಸಬಹುದು ಎಂದು ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ , ಹೆಚ್ಚಿನ ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕೆ ಆಸಕ್ತಿದಾಯಕವಾಗಿದೆ.

ಅಧ್ಯಾಯ 7 ರಲ್ಲಿ, ಬಿಎಲ್ಜಿಯ (BLG, ದ್ವಿ-ಪದರದ ಗ್ರಾಫೀ) ಸ್ಪಿನ್-ಕಕ್ಷೆಯೊಂದಿಗೆ ಬಹು-ಪದರದ WS_2ಗೆ ಸೇರಿಕೊಂಡ ಮತ್ತು WS_2 ಅನ್ನು ತಲಾಧಾರವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುವ ಸಂರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆಯನ್ನು BLG ಯಲ್ಲಿ ತನಿಖೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು.ಈ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ಗಳಲ್ಲಿ ನಾವು $\tau_{\perp}/\tau_{\parallel}$~40-70 ರ ರೆಕಾರ್ಡ್ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಮಾನದ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಯನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡಿದ್ದೇವೆ. ದಪ್ಪವಾದ WS_2 ತಲಾಧಾರದಿಂದಾಗಿ BLGಯಲ್ಲಿ ಹಿಂದಿನ ಗೇಟ್ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಟ್ಯೂನ್ ಮಾಡಲು ನಮಗೆ ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ; ಆದಾಗ್ಯೂ, ಹಿಂದಿನ ಗೇಟ್ ಬದಲಾಗಿ ಮೇಲಿನ ಗೇಟ್‌ನ್ನು ಬಳಸುವ ಪರಿಹಾರವನ್ನು ಅನ್ವೇಷಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ. ಇದಲ್ಲದೆ, ಫೆರೋಮ್ಯಾಗ್ನೆಟಿಕ್ವಿ ವಿದ್ಯುದ್ವಾರಗಳ ಆಕಾರ-ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಯನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಮೂಲಕ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಕ್ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಿತಾವಧಿಯ ಅನುಪಾತವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಓಬ್ಲಿಕ್‌ಸ್ಪಿನ್ ವಾಲ್ ಮಾಪನ ಎಂಬ ಹೊಸ ಸಾಧನವನ್ನು ನಾವು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಹೆಚ್ಚಿನ $\tau_{\perp}$ ಮತ್ತು ಹೆಚ್ಚಿನ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಮಾನದ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಯ ಅವಲೋಕನವು, ಎಸ್ಒಸಿ ಉಪಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ, BLG/WS_2 ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳಲ್ಲಿ, ಔಟ್-ಆಫ್-ಪ್ಲೇನ್ ಸ್ಪಿನ್‌ಗಳಿಗೆ ಬಲವಾದ ಸ್ಪಿನ್-ವ್ಯಾಲಿ

ಜೋಡಣೆಯ, ಸ್ಪಷ್ಟ ಗುರುತುಗಳಾಗಿವೆ.

ಅಧ್ಯಾಯ 8 ರಲ್ಲಿ, ಸ್ಪಿನ್ ಸಾಗಣೆಯನ್ನು ದ್ವಿ-ಪದರದ ಗ್ರಾಫಿನ್ (BLG, ಬಿಎಲ್‌ಜಿ) ಯಲ್ಲಿ ತನಿಖೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು. BLG ಮತ್ತು ಬಹು-ಪದರ WSe_2 ಸ್ಪಿನ್-ಆರ್ಬಿಟ್ ಇಂಟರಕ್ಷಣ್ ಹೊಂದಿರುವ, SLG/WSe_2 ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್‌ನ್ಂತೆಯೇ ಜ್ಯಾಮಿತಿಯಲ್ಲಿ, ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. WSe_2 ನಿಂದ ಆವರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಗ್ರಾಫಿನ್ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ $\tau_\perp/\tau_\parallel$=3.6 ರ ಸ್ಪಿನ್ ಜೀವಮಾನದ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಕ್ ಅನುಪಾತವನ್ನು ಗಮನಿಸಲಾಯಿತು ಮತ್ತು ಇದರ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು WSe_2 ವ್ಯಾಪ್ತಿಗೆ ಒಳಪಡದ ಗ್ರಾಫಿನ್ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸಹ ಗಮನಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ, ಆದರೆ WSe_2ಆವರಿಸಿದ ಗ್ರಾಫಿನ್ ಪ್ರದೇಶಕ್ಕೆ ಹತ್ತಿರದಲ್ಲಿದೆ. ಮೇಲಿನ ಸಾಧನವು SLG/WSe_2 ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್‌ನ್ಂತೆಯೇ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. WSe_2/BLG ಯ ಲಂಬ ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳನ್ನು ಸಹ ತಯಾರಿಸಲಾಯಿತು ಮತ್ತು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲಾಯಿತು, ಇದು ಪ್ರಸ್ತುತ ಆನ್/ಆಫ್ ಅನುಪಾತ $>10^3$ ನೊಂದಿಗೆ, ಎನ್-ಟೈಪ್ ನಡವಳಿಕೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಟಿಎಂಡಿ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ಗಳೊಂದಿಗಿನ ಗ್ರಾಫೀನ್‌ನ ಲಂಬ ಎಫ್‌ಇಟಿಗಳ ಸಾಕ್ಷಾತ್ಕಾರವು, ಹೊಸ ಸಾಧನ ಜ್ಯಾಮಿತಿಯನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಂಡು ಅಲ್ಟ್ರಾ-ತೆಳುವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಎಸ್‌ಎಲ್‌ಜಿ ಮತ್ತು ಬಿಎಲ್‌ಜಿ ಎರಡರಲ್ಲೂ, ಟಿಎಂಡಿ ಹೆಟೆರೊಸ್ಟ್ರಕ್ಚರ್ಗಳೊಂದಿಗೆ, ಬಲವಾದ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಕ್ ಎಸ್‌ಒಸಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ ಎಂದು , ನಮ್ಮ ಪ್ರಾಯೋಗ ತೋರಿಸುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಈ ಸಾಧನಗಳು ಇನ್-ಪ್ಲೇನ್ ಮತ್ತು ಔಟ್ ಆಫ್ ಪ್ಲೇನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅನಿಸೊಟ್ರೊಪಿಕ್ ಸ್ಪಿನ್ ವಿಶ್ರಾಂತಿ ಸಮಯವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ವೀಕ್ಷಣೆ ಮುಂದಿನ ಪೀಳಿಗೆಯ ಸ್ಪಿಂಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಲು ಒಂದು ಹೆಜ್ಜೆ ತುಂಬ ಹತ್ತಿರದಲ್ಲಿದೆ.