ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕಾಗಿ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ

ಪುಷ್ಪಾಂಜಲಿ. ಹೆಚ್.ಸಿ ಮತ್ತು ರೂಪಾಲಿ ಸಾಹು

ಸೌರಫಲಕ ವಿಭಾಗ, ಶಕ್ತಿ ಸಮೂಹ, ಯು ಆರ್ ರಾವ್ ಉಪಗ್ರಹ ಕೇಂದ್ರ, ಬೇಂಗಳೂರು–17

ಮಿಂಚಂಚೆ: pushpahc@ursc.gov.in, rsahu@ursc.gov.in,

ಪ್ರಸ್ತಾವನೆ

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಕಾರ್ಯ ನಿರ್ವಹಣೆಗೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆ ಎಷ್ಟು ಎಂದು ನಮಗೆಲ್ಲರಿಗೂ ತಿಳಿದದ್ದೇ ಆಗಿದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವ ಮೂಲಕ ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ಬೇಡಿಕೆಯನ್ನು ಪೂರೈಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿರುವಾಗ ಸೌರ ಫಲಕಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿಲ್ಲದಿರುವಾಗ ಬ್ಯಾಟರಿಗಳನ್ನು ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಮೂಲವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಲೇಖನದಲ್ಲಿ, ಪ್ರಾಥಮಿಕ ವಿದ್ಯುನ್ಮೂಲವಾಗಿರುವ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಗಮನ ಹರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದಲ್ಲಿ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಉಪಗ್ರಹಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ಅಗತ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಸುಮಾರು 20kW ಅಥವಾ ಅದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿನ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಸೌರ ಫಲಕದ ಮಾಡ್ಯೂಲ್‌ಗಳ ಮೂಲಕ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ಅಥವಾ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿನ ಸೌರ ಫಲಕದ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಅಂದರೆ ರೆಕ್ಕೆ(ವಿಂಗ್)ಯ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದಾಗಿದೆ. ಕಡಿಮೆ ಭೂಮಿಯ ಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ (ಲೋ ಅರ್ಥ್ ಆರ್ಬಿಟ್–LEO) ತನ್ನ ಜೀವಿತಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವಂತೆ ಸೌರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ರಚಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣವು, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಟ್ರಿಪಲ್ ಜಂಕ್ಷನ್ ಸೋಲಾರ್ ಸೆಲ್(ಸೌರ ವಿದ್ಯುತ್ಕೋಶ)ಗಳೊಂದಿಗೆ ಹೊಂದಿಕೊಳ್ಳುವ ತೆಳುವಾದ– ಬಳುಕುವ ಆಧಾರ(ಫ್ಲೆಕ್ಸಿಬಲ್ ಸಬ್ಸ್ಟ್ರೇಟ್)ಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ತಯಾರಿಸಿದ ಸೌರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸೌರ ಫಲಕಗಳು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪರಿಸರಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡು ಅಂದರೆ, ತನ್ನ ಜೀವಮಾನದ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಯಲ್ಲಿ ಎದುರಾಗುವ ವಿಪರೀತ ಉಷ್ಣತೆ, ವಿಕಿರಣ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು (ಅಟಾಮಿಕ್ ಆಕ್ಸಿಜೆನ್ O2– LEO)ವಿನ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆ ಇತ್ಯಾದಿ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಡಿ.ಸಿ.100V ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ನ ಅಧ್ಯಯನ ಮತ್ತು ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸೌರ ಕೋಶಗಳ ಮಾಡ್ಯೂಲ್ ಗಾತ್ರ, ಸೌರ ವಿದ್ಯುತ್ಕೋಶಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಸಂಪರ್ಕ ಜೋಡಣೆಯಲ್ಲಿ ಪುನರುಕ್ತಿ, ತೆಳುವಾದ ಬಳುಕುವ ಆಧಾರಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಬಳಸುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಸ್ತುಗಳು, ಸೌರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಗಟ್ಟಿಯಾಗಿ ಹಿಡಿದಿಡುವ ಕಂಬಿಯಂತಹ ಆಧಾರಗಳು, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಿಡಿ(ಆರ್ಕಿಂಗ್) ನಿರೋಧಕಗಳು ಮತ್ತು ತೂಕ ಕಡಿತ

ಮಾಡಬಹುದಾದ ವಿನ್ಯಾಸಗಳು ಸೇರಿವೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪರಿಸರಕ್ಕೆ ಒಡ್ಡಲ್ಪಡುತ್ತವೆ ಹಾಗೂ ಬಹಳ ವಿಸ್ತಾರವಾದ ಜಾಗವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುತ್ತವೆ. ಹಾಗಾಗಿ ಅಂತರಿಕ್ಷ ತ್ಯಾಜ್ಯ/ ಅವಶೇಷಗಳಿಂದ ಇದನ್ನು ರಕ್ಷಿಸುವುದು ಪ್ರಮುಖ ಕಾರ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದಾಗಿದೆ. ಭೂಮಿಯಿಂದ ಇರುವ ಎತ್ತರ ಮತ್ತು ಭೂಮಿಯ ಚಲನೆಯ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಬದಾಲಾಗುವ ಸೂರ್ಯನ ಪ್ರಕಾಶದಿಂದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪರಿಸರವೂ ಆಗಾಗ್ಗೆ ಬದಲಾಗುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಪ್ರಮುಖ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪರಿಸರದ ಅಸ್ಥಿರತೆಗಳೆಂದರೆ ಉಷ್ಣತೆ, ಅಣು–ಪರಮಾಣುಗಳ ದಟ್ಟತೆ ಮತ್ತು ವಿಭಿನ್ನ ಶಕ್ತಿಗಳೊಂದಿಗೆ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮೋಡಗಳು, ಪ್ಲಾಸ್ಮಾಗಳು ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು (O) ಇತ್ಯಾದಿ.

ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಮತ್ತು CFRP ಯಿಂದ ತಯಾರಿಸಿದ ಆಧಾರಗಳನ್ನು ಫಲಕ ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಆಧಾರಿತ ಉಷ್ಣ ನಿರೋಧಕ ವಸ್ತುಗಳು ಹೆಚ್ಚಿನ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪರಿಸರವನ್ನು ತಡೆದುಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲವು ಆದರೆ ಅವುಗಳ ಮೇಲ್ಮೈ ನಿರೋಧಕ ಸ್ವಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಾರಣದಿಂದ ಉಂಟಾಗಬಹುದಾದ ಸ್ಥಾಯೀವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಶೂನ್ಯಗೊಳಿಸಲು ಬೇರೆ ಉಪಾಯಗಳನ್ನೇ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. CFRPಯ ತೂಕ ಸರಾಸರಿ 1.5–1.6 Kg/m². ಆದ್ದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಲೋಹಕ್ಕಿಂತ ಐದು ಪಟ್ಟು ಹಗುರವೆಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

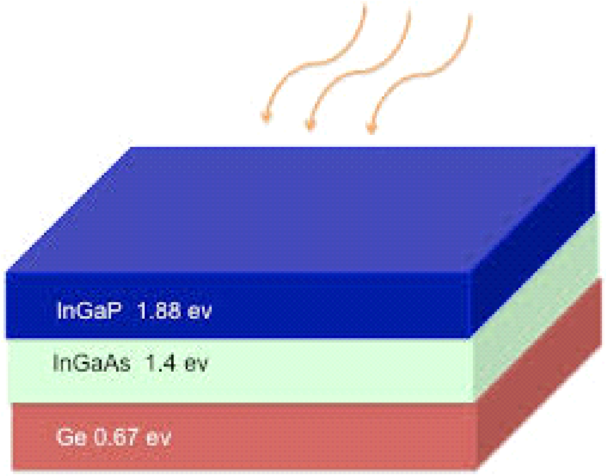
ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ಅಗತ್ಯವನ್ನು ಪೂರೈಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆಗಾಗಿ ನಮ್ಮ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸೌರ ಫಲಕಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ತೆಳು/ಮೆದುವಾದ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಸ್ತುಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಈ ಲೇಖನದಲ್ಲಿ ಚರ್ಚಿಸಲಾಗುವುದು.

ಮುಖ್ಯ ಪದಗಳು: ಸೋಲಾರ್ ಅರ್ರೇ (ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆ), ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿ, ಜೋಡಣೆ, ತೂಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ, ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್, CFRP

ಪ್ರಾಥಮಿಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನಾ ಮೂಲವಾಗಿರುವ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಅಂಶಗಳು:

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ಅಗತ್ಯ ಪೂರೈಸಲು ಬೇಕಾಗುವಂತಹ ದೊಡ್ಡ **ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳ** ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಪ್ರಮುಖ ಅಂಶಗಳೆಂದರೆ, ಟ್ರಿಪಲ್ ಜಂಕ್ಷನ್ – (ಮೂರು ಸಂಧಿಗಳಿರುವ ಅರೆವಾಹಕಗಳಿಂದ ತಯಾರಾದ)ಸೌರ ಕೋಶಗಳು, ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧಾರದ ಹೊದಿಕೆ, ತಲಾಧಾರದ ಮೇಲೆ ಸೌರ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಬಂಧಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಅಂಟು, ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧಾರಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಳ್ಳುವ ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕ ತಂತಿಗಳು ಮತ್ತು ಕನೆಕ್ಟರ್‌ಗಳು ಅಂದರೆ ಜೋಡಕಗಳು ಇತ್ಯಾದಿ. ಇಂದಿನ ಮಾರುಕಟ್ಟೆಯಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಅಂತರಿಕ್ಷ ಅಭಿಯಾನಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದ ***ಸೌರ ಕೋಶಗಳ*** ಗರಿಷ್ಠ ಲಭ್ಯವಿರುವ ದಕ್ಷತೆ ~30%. ಈ ಸೌರ

ಕೋಶಗಳು ಮೂರು ವಿಧದ ಅರೆವಾಹಕ (ಸೆಮಿಕಂಡಕ್ಟರ್)ಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ ಮತ್ತು ಅದರೊಂದಿಗೆ ಕವರ್ ಗ್ಲಾಸ್ ಅನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ:1ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಸೌರ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಸೂರ್ಯನ ವಿಕಿರಣಗಳಿಂದ ರಕ್ಷಿಸಲು ಕವರ್ ಗ್ಲಾಸ್ ಅನ್ನು ಬಳಸಾಗುತ್ತದೆ. ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧಾರಗಳು ಬಳುಕುವ ಪ್ರಕೃತಿಯದಾಗಿದ್ದು, ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಜೋಡಿಸಿ ಬಂಧಿಸಿದಾಗ ಕಡಿಮೆ ಸ್ಥಳವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುತ್ತವೆ. ಕಡಿಮ ತೂಕ ಹಾಗು ಕಡಿಮೆ ಸ್ಥಳವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುವ ಗುಣದಿಂದ ಈ ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧಾರಗಳು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ದೊಡ್ಡ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರವಹಿಸುತ್ತವೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಸಾಗಿಸಲು ಬಳಸಲಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ತಂತಿಗಳು ಆರ್ಕ್(ವಿದ್ಯುತ್ ಕಿಡಿ) ನಿರೋಧಕವಾಗಿರಬೇಕು ಹಾಗೂ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದ ತಾಪಮಾನ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಪರಿಸರವನ್ನು ಸಹಿಸಿ ಬದುಕುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಈ ರೀತಿಯ ಸೌರ ಫಲಕದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ ಸಂರಚನೆಯು, ಕಡಿಮೆ ಉಡಾವಣಾ ಪರಿಮಾಣ (less volume) ಮತ್ತು ಹೆಚ್ಚು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ (specific power) ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪ್ರಯೋಜನಕಾರಿಯಾಗಿದೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿನ ಅಭಿವೃದ್ಧಿಯು; ಏಕವಾಹಕಗಳು ಅಂದರೆ ಬೈಪಾಸ್ ಡಯೋಡ್, ಪ್ರತ್ಯೇಕತೆಗಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಏಕವಾಹಕಗಳು, ತಲಾಧಾರ, ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಹೊದಿಕೆಯ ಲೇಪನ ಮತ್ತು ಭೂಮಿಯಿಂದ ಕಡಿಮೆ ಅಂತರದ ಕಕ್ಷೆಯ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಗಳಿಗಾಗಿ ಪರಮಾಣು ಆಮ್ಲಜನಕ ರಕ್ಷಣೆಯೊಂದಿಗೆ ಸೌರ ಕೋಶಗಳ ಜೋಡಣೆಯನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ. ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಕೆಲವೊಂದು ಪ್ರಮುಖ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ ಅದನ್ನು ಕೋಷ್ಟಕ:1ರಲ್ಲಿ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 1 ಟ್ರಿಪಲ್ ಜಂಕ್ಷನ್ ಸೌರ ಕೋಶ

(ಕೃಪೆ : http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/esfandyarpour-r2/)

ಕೋಷ್ಟಕ 1: ಸೌರ ಫಲಕದ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಅಂಶಗಳು

ಕ್ರ. ಸಂ.	ನಿಯತಾಂಕಗಳು	ಅವಶ್ಯಕತೆ

1.	ಕಕ್ಷೆಯ ಎತ್ತರ ಮತ್ತು ಪ್ರಕಾರ	LEO, ವೃತ್ತಾಕಾರದ ಕಕ್ಷೆ
2.	ವಿದ್ಯುತ್ ಅವಶ್ಯಕತೆ	20 KWಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು
3.	ರೆಕ್ಕೆಗಳ ಒಟ್ಟು ಸಂಖ್ಯೆ	ಪ್ರತಿ ಮಾಡ್ಯೂಲ್‌ಗೆ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ರೆಕ್ಕೆಗಳು
4.	ಬಸ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್	100 ವೋಲ್ಟ್ ಡಿಸಿ 110V AC –ಎ.ಸಿ. ವಿದ್ಯುತ್ – ಅವಕಾಶವಿದ್ದರೆ

1. ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿ ಸೌರ ಫಲಕದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ ಮೇಲೆ ಪರಿಣಾಮ ಬೀರುವ ಅಂಶಗಳು

1.1 ತಾಪಮಾನ/ ಉಷ್ಣತೆ: ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿ ಯಾವುದೇ ಉಷ್ಣ ಸಂವಹನ ಅಥವಾ ಉಷ್ಣವಹನ ಮಾಧ್ಯಮವಿಲ್ಲದ ಕಾರಣ ಯಾವುದೇ ಸಂಪೂರ್ಣ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಯ ಉಷ್ಣತೆಯು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣದಿಂದಲೇ ನಿಯಂತ್ರಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧಿಷ್ಟ ಉಷ್ಣತಾ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿರಿಸಲು ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣತೆಯ ಗುಣಲಕ್ಷಣವನ್ನೇ ಗಮನದಲ್ಲಿರಿಸಿಕೊಂಡು ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸುವುದು ಅತೀ ಅವಶ್ಯಕ. ಸೌರಕೋಶಗಳಿಗೆ ಅನುಪಯುಕ್ತವಾದ ಕಿರುಗೆಂಪು ವಿಕಿರಣ ಮತ್ತು ನೇರಳಾತೀತ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಪ್ರತಿರೋಧಿಸಲು ಸೌರಕೋಶಗಳ ಮೇಲೆ ಕವರ್ ಗ್ಲಾಸ್‌ಗಳನ್ನು ಬಳಸುವ ಮೂಲಕ ಅತಿಯಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದನ್ನು ತಪ್ಪಿಸಿ ಅವುಗಳ ಉಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶಕ್ಕೆ ಶಾಖವನ್ನು ಹೊರಹಾಕಲು ಹೆಚ್ಚಿನ ಹೊರಸೂಸುವಿಕೆಯ ಗುಣವುಳ್ಳ ಮೇಲ್ಮೈ ಹಾಸುಗಳನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಂಡು ಮಾಡಿದ ರಚನೆಯಿಂದ ಶಾಖದ ಹರಿವನ್ನು ಗರಿಷ್ಠಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಸೌರ ಫಲಕದ ಮುಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನ ಪೂರ್ಣ ಬೆಳಕು ಮತ್ತು ಹಿಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕತ್ತಲೆ ಇರುತ್ತದೆ ಆದ್ದರಿಂದ ಮುಂಭಾಗ ಮತ್ತು ಹಿಂಭಾಗಗಳ ನಡುವೆ ತಾಪಮಾನದಲ್ಲಿ ಗಮನಾರ್ಹ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ. ಅಂತರಿಕ್ಷದ ವಿವಿಧ ಅಭಿಯಾನಗಳಲ್ಲಿ, ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿನಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಸೌರ ಫಲಕದ ಕಾರ್ಯಾಚರಣಾ ತಾಪಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಯು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಕೆಳ ಹಂತದ ಭೂ ಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿನ ಫಲಕದ ರಚನೆಯ ಉಷ್ಣತೆಯು –100°C ರಿಂದ +100°C ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಭೂ ಸ್ಥಿರ ಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿನ ಫಲಕದ ರಚನೆಯ ಉಷ್ಣತೆಯು –165°C ರಿಂದ +80°C ಇರುತ್ತದೆ.

1.2 ವ್ಯಾನ್ ಅಲೆನ್ ರೇಡಿಯೇಶನ್ ಬೆಲ್ಟ್: ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ಭಾರವಾದ ಅಯಾನುಗಳು "ವ್ಯಾನ್ ಅಲೆನ್ ಬೆಲ್ಟ್"ಗಳಲ್ಲಿ ಹಿಡಿದಿಡಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಶಕ್ತಿಗಳು ಕೆಲವು keV ನಿಂದ ಸುಮಾರು 7 MeV ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ಅಯಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳು ಕೆಲವು keV ನಿಂದ ಸುಮಾರು 500 MeV ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಸಣ್ಣ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಕಣಗಳು ಈ ಮೌಲ್ಯಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ ಆದರೆ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಯ ವಿನ್ಯಾಸದ ದೃಷ್ಟಿಕೋನದಿಂದ ಅವು ಮುಖ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಹಾಗು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ವಿತರಣೆಯ ಪರಿಮಾಣವು, ಕಕ್ಷೆಯ ಎತ್ತರ ಮತ್ತು ಕಕ್ಷೆಯ ವಾಲುವಿಕೆಯೊಂದಿಗೆ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಯು ವ್ಯಾನ್ ಅಲೆನ್ ಬೆಲ್ಟ್ ಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರಯಾಣಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ ಇದೇ ಈ ಕಕ್ಷೆಗೆ ಮುಖ್ಯ ಸವಾಲಾಗಿದೆ.

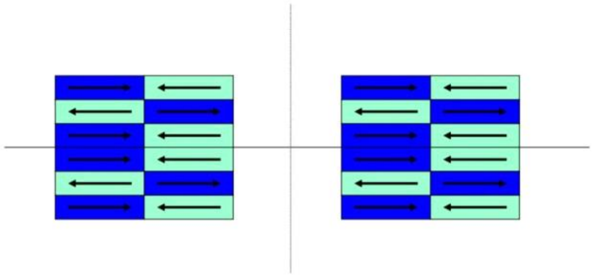
1.3 ಪರಮಾಣು ಆಮ್ಲಜನಕ: ಸುಮಾರು 200–500 ಕಿಮೀ ಎತ್ತರದಲ್ಲಿ, ಪರಮಾಣು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯು ವಾತಾವರಣದ ಪ್ರಮುಖ ಅಂಶವಾಗಿದೆ (ಷಟಲ್ ಕಕ್ಷೆಯ ಎತ್ತರವಾದ 250 ಕಿ.ಮೀ.ನಲ್ಲಿ 109 cm3 ಪರಮಾಣುಗಳು, ಅಂತರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ಕಕ್ಷೆಯ ಎತ್ತರವಾದ 500 ಕಿ.ಮೀ.ನಲ್ಲಿ 107 cm3 ನಷ್ಟು ಪರಮಾಣುಗಳು ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಾಗಿರುತ್ತವೆ). ಪರಮಾಣು ಆಮ್ಲಜನಕವು ಬಹಳ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕವಾಗಿದೆ ಮತ್ತು ವಸ್ತುವನ್ನು ಸವೆಸುತ್ತದೆ, ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಅಂತರ್ ಸಂಪರ್ಕಗಳಲ್ಲಿ– ಅದೂ ಬೆಳ್ಳಿಯಿಂದ ಮಾಡಿದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ ಅಂತಹ ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶೇಷವಾಗಿ ರಕ್ಷಣಾ ಹೊದಿಕೆಯ ಲೇಪನವನ್ನು ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ಇದು ವೈಫಲ್ಯಗಳ ಒಂದು ಶ್ರೇಣಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗಬಹುದು ಅಥವಾ ಅಭಿಯಾನದ ಜೀವಿತಾವಧಿಯ ನಿರ್ಣಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗಮನಾರ್ಹ ಅಂಶವಾಗಬಹುದು. ರಚನೆಯ ಎಲ್ಲಾ ದುರ್ಬಲ ಮೇಲ್ಮೈಗಳನ್ನು ರಕ್ಷಿಸಬೇಕು. ಅಲ್ಲದೆ, ಮೇಲ್ಮೈಗಳ ಸವೆತವು ಶಾಖ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ದೃಕ್(ಆಪ್ಟಿಕಲ್) ಬದಲಾವಣೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗಬಹುದು, ಸೌರ ಕೋಶಗಳ ಕಾರ್ಯಾಚರಣಾ ಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆ.

1.4 ಅತೀ ಸಣ್ಣ ಉಲ್ಕೆಗಳು ಮತ್ತು ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿನ ಅವಶೇಷಗಳು: ಭೂಮಿಯ ಕಕ್ಷೆಯು ಧೂಮಕೇತುವಿನ ಕಕ್ಷೆಯೊಂದಿಗೆ ಛೇದಿಸಿದಾಗಲೆಲ್ಲಾ ಈ ಅತೀ ಸಣ್ಣ ಉಲ್ಕೆಗಳ ಮಾನ್ಯತೆ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ಕಕ್ಷೆಯ ಅವಶೇಷಗಳು ಕಳೆದ ರಾಕೆಟ್ ಹಂತಗಳು/ ರಾಕೆಟ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಗಳ ತುಣುಕುಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ. LEO ಮತ್ತು GEO ನಲ್ಲಿ ಕನಿಷ್ಠ 10 ಸೆಂ.ಮೀ ಗಾತ್ರದ ಮಾನವ

ನಿರ್ಮಿತ ಬಹಳಷ್ಟು ವಸ್ತುಗಳು ಮತ್ತು ಬಹುಶಃ ನೂರಾರು ಸಾವಿರ ಸಣ್ಣ ವಸ್ತುಗಳು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿವೆ. ಅವು ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಹಾನಿಯನ್ನುಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಇತರ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಬಹುದು (ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಪರಮಾಣು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಪರಸ್ಪರ ಕ್ರಿಯೆಗಳು, ಸೌರ ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ ಅಪ್ಪಳಿಸುವಿಕೆ). ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಫಲಕದ ಉಷ್ಣತೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಥವಾ ಆಪ್ಟಿಕಲ್(ದೃಕ್) ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು. ಸಂಪೂರ್ಣ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಗಾಗಿ, ಕೋಶಗಳ ಭಾಗಗಳಿಗೆ ಹಾನಿಯಾಗದಂತೆ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಕೋಶಕ್ಕೆ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಪರ್ಕಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸಿ ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದಲ್ಲದೆ, ದೀರ್ಘ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಯ ಅವಧಿ, ಹೆಚ್ಚಿದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಯ ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ಅತೀ ಎತ್ತರದ ಕಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಹಾನಿಯ ಅಪಾಯವು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ದೊಡ್ಡ ಸೌರ ರೆಕ್ಕೆಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಸೂಕ್ಷ್ಮ/ ದುರ್ಬಲವಾಗಿರುತ್ತವೆ ಹಾಗಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ಸುರಕ್ಷತೆಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

1.5 ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷಣದ ನಿಯಂತ್ರಣ:

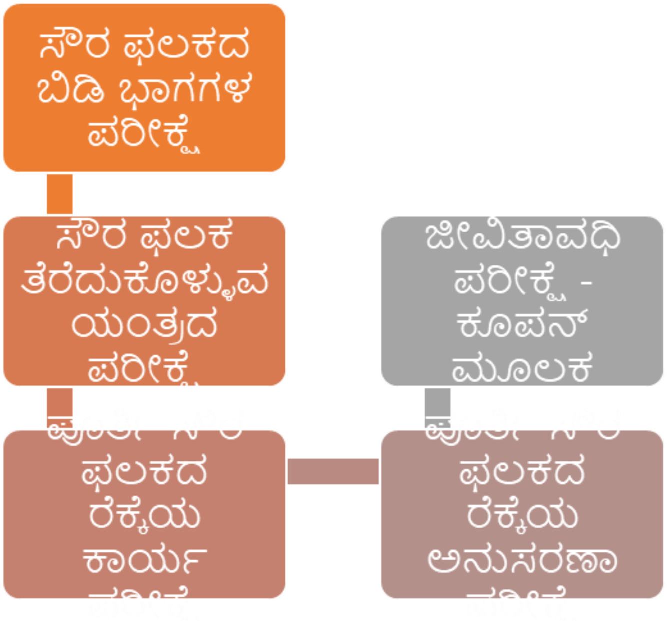
ಸೌರ ಫಲಕದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ, ಸೌರ ಕೋಶಗಳ ಜೋಡಣೆಯ ವಿನ್ಯಾಸದ ಆಯ್ಕೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹಗಳ ಚಲನೆಯ ದಿಕ್ಕು ಮತ್ತು ಅದರಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಲು ಸಹಾಯ ಮಾಡುತ್ತದೆ, ಇದು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದ ಪೇಲೋಡ್ ಸುಗಮವಾಗಿ ಕಾರ್ಯ ನಿರ್ವಹಿಸಲು ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ತೊಡೆದುಹಾಕಲು, ಚಿತ್ರ2ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ತಂತಿಗಳಿಗೆ ಕನ್ನಡಿಯಂತಹ (ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ವಿರುದ್ಧವಾದ) ಸಂರಚನೆಯನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಂಡು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ರದ್ದತಿಗಾಗಿ ರಚನೆಯನ್ನು ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸಬೇಕು.



ಚಿತ್ರ 2 ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಚಲನೆಯ ದಿಕ್ಕು ನಿಯಂತ್ರಣ

2. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿಧಾನ

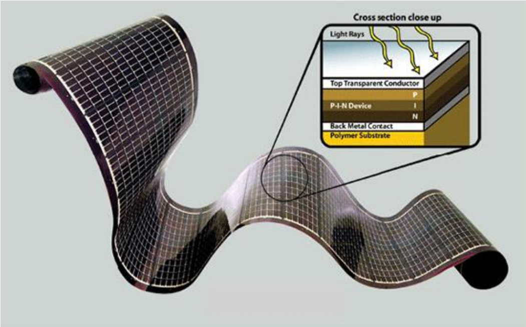
ಕಡಿಮೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಅಭಿಯಾನಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳನ್ನು ಬಳಸುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳೇ ಹೆಚ್ಚು. ಏಕೆಂದರೆ, ಅದು ಗಟ್ಟಿಮುಟ್ಟಾದ ತಲಾಧಾರವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ಈಗಾಗಲೇ ಧೃಡೀಕೃತವಾದ–ಉತ್ಪಾದನಾ ವಿಧಾನ ಹಾಗೂ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಉಡಾವಣಾ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಮತ್ತು ಪರಿಮಾಣವು ದೊಡ್ಡ ಕಾಳಜಿಯಿರುವ ಸ್ಥಳದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಯಂತ್ರಾಂಶವನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ ಅದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಮತ್ತು ಪರಿಮಾಣವನ್ನು ಗಣನೀಯವಾಗಿ ಕಡಿಮೆ ಮಾಡುವ ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಎಲ್ಲಾ ಘಟಕಗಳು, ಅಗತ್ಯ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಕೌಶಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಿ ಉತ್ಪಾದನಾ ಸೌಲಭ್ಯಗಳನ್ನು ಆರಂಭಿಕ ಹಂತದಲ್ಲೇ ಗುರುತಿಸಿಕೊಂಡರೆ; ನಂತರದಲ್ಲಿ ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸಲು, ಉತ್ಪಾದನಾ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಯೋಜಿಸಿ–ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಿ ಸಂಯೋಜಿಸಲು ಮತ್ತು ತಯಾರಿಸಲು ಸಾಕಷ್ಟು ಸಮಯ ದೊರೆಯಬಹುದು. ವಿವಿಧ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿನ ಪರೀಕ್ಷೆಯು ಪ್ರತೀ ಸೌರಕೋಶಗಳು, ಸೌರಕೋಶಗಳ ಘಟಕ(ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಜೋಡಿಸಿದ ಸೌರಕೋಶಗಳು) ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ, ಸೌರ ಫಲಕದ ಮಟ್ಟಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಸೌರ ಫಲಕದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷೆಯನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುತ್ತದೆ. ಜೋಡಣೆಯ ನಂತರದ ಮೌಲ್ಯಮಾಪನ ಪರೀಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಈ ಹೊಸ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಕ್ಕಾಗಿ ಚಿತ್ರ3ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಯಂತ್ರ ಚಾಲಿತ ಕಾರ್ಯವಿಧಾನಗಳು / ಯಾಂತ್ರೀಕೃತ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ ಅಗತ್ಯವಿರುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ3: ಪರೀಕ್ಷೆಯ ವಿವಿಧ ಹಂತಗಳು

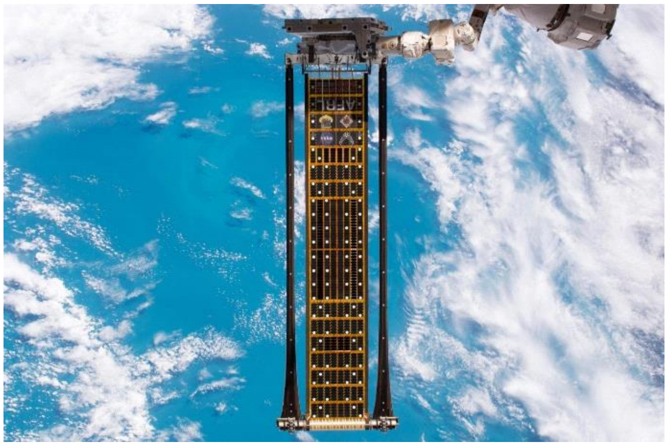
ಹೆಚ್ಚಿನ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆಗೆ ನೂತನ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ

ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳನ್ನು, ಸುಮಾರು 15–20KWಶಕ್ತಿಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದನೆಗಾಗಿ ಬಳಸಿದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಗಟ್ಟಿಮುಟ್ಟಾದ ತಲಾಧಾರದ ಬೃಹತ್ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಮತ್ತು ಫಲಕಗಳನ್ನು ಬಂಧಿಸಿಟ್ಟರೂ ಅದರ ದೊಡ್ಡ ಗಾತ್ರದ ಕಾರಣ ಹೆಚ್ಚಿನ ಜಾಗದ ಅಗತ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ತಲಾಧಾರದ ರಚನೆಯು CFRP ಲೇಪನದೊಂದಿಗೆ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಮ್‌ನಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಜೇನುಗೂಡಿನಂತಹ ರಚನೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕೆ ತೆಳುವಾದ/ ಬಳುಕುವ ತಲಾಧಾರಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಮ್ಯಾಂಡ್ರೆಲ್ ಬಳಸಿ ಸಂಗ್ರಹಿಸಬಹುದು/ ಸುತ್ತಿಡಬಹುದು ಮತ್ತು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿ ಕಕ್ಷೆಯನ್ನು ತಲುಪಿದ ನಂತರ ತೆರೆದುಕೊಳ್ಳುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗುವುದು (ಚಿತ್ರ6). ಈ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ರೆಕ್ಕೆಗಳನ್ನು ಮೌಲ್ಯಮಾಪನ ಮಾಡಲು ಮತ್ತು ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಧೃಡೀಕರಿಸಲು ಬಹಳಷ್ಟು ಪರೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಲಾಗುತ್ತದೆ ಅದರಲ್ಲಿ, ಬಂಧಿಸಿಟ್ಟು ನಂತರ ತೆರೆದಾಗ ಫಲಕಗಳ ಪಂಕ್ತೀಕರಣ ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಹೊಂದಾಣಿಕೆ, ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ, ಧ್ವನಿ ಕಂಪನ (ಅಕೌಸ್ಟಿಕ್) ಮತ್ತು ಶೀತೋಷ್ಣ ನಿರ್ವಾತ(ಥರ್ಮೋವಾಕ್ಯೂಮ್) ಮುಂತಾದ ಪರೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಸೌರ ಕೋಶದ ಒಳನೋಟವನ್ನು(ಕ್ರಾಸ್ ಸೆಕ್ಷನಲ್) ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 4 ಸೌರ ಕೋಶದ ಪದರಗಳು (ಕೃಪೆ: timestech.in)

ಚಿತ್ರ 5 ಹಬಲ್‌ಗಾಗಿ ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧರದ ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆ



ಚಿತ್ರ 6 ಸೌರ ಫಲಕ ತೆರೆದುಕೊಳ್ಳಲು ಯಂತ್ರಚಾಲಿತ ವ್ಯವಸ್ಥೆ (ಕೃಪೆ: wikipedia)

3. ಸೌರ ಫಲಕ ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಬಳಸುವ ವಸ್ತುಗಳ ಆಯ್ಕೆ ಹಾಗೂ ಪ್ರಯೋಜನಗಳು

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣದ ಸೌರ ಫಲಕ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಅತಿ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿ ಪರಿಗಣಿಸಬೇಕಾದ ಅಂಶವೆಂದರೆ, ಸೌರ ಫಲಕವು ಅತೀ ಹೆಚ್ಚು ಸ್ಥಳವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುವುದರಿಂದ ಸಾಕಷ್ಟು ರಚನಾತ್ಮಕ ಬಿಗಿತವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಸುಮಾರು 4x8 ಸೆಂ. ಮೀ. ಗಾತ್ರದ ಮತ್ತು 300 ಮೈಕ್ರಾನ್ ದಪ್ಪವಿರುವ ಸೌರ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಬಳಸಬಹುದಾಗಿದೆ ಮತ್ತು ಈ ಸೌರ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಸೀರಿಯಮ್ ಡೋಪ್ಡ್ ಮೈಕ್ರೋಶೀಟ್ ಆಧಾರಿತ ಕವರ್ ಗ್ಲಾಸ್‌ನಿಂದ ರಕ್ಷಿಸಲಾಗಿದೆ. ಪ್ರತಿ ಅಭಿಯಾನದಲ್ಲೂ ಅದರ ಜೀವಮಾನದ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಗೆ ಬೇಕಾಗುವಷ್ಟು ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡಲು, ಅದರ ಸುತ್ತಲಿನ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿನ ವಾತಾವರಣದಿಂದ ಅಂದರೆ, BOL (ಅಭಿಯಾನದ ಆರಂಭ) ಮತ್ತು EOL (ಅಭಿಯಾನದ ಅಂತ್ಯ) ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಬಹುದಾದ ನಷ್ಟಗಳೆಲ್ಲವನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ನಂತರ ಅಭಿಯಾನಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬಸ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗೆ ತಕ್ಕಂತೆ ಸೌರ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಸರಣಿಯಲ್ಲಿ ಸಂಪರ್ಕಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ತೆಳುವಾದ ತಲಾಧಾರಗಳನ್ನು ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಪದರಗಳ ನಡುವೆ ಸಿಎಫ್‌ಆರ್‌ಪಿ(CFRP)ಯನ್ನು ಸಿಲುಕಿಸಿ (ಸ್ಯಾಂಡ್‌ವಿಚ್) ತಯಾರು ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ, ಹಾಗೂ ಈ ಪದರುಗಳನ್ನು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶಯಾನಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಧೃಡೀಕರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಅಂಟನ್ನು ಬಳಸಿ ಬಂಧಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಬಂಧಿಸಲು ಕೀಲುಗಳನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರಚನೆಯನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಶೂನ್ಯ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯ ಚೌಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಫಲಕಗಳು, ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿನ ವಾತಾವರಣಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡು ಕಾರ್ಯ ನಿರ್ವಹಿಸುವ ಅಂದರೆ, ಅದರ ಜೀವಮಾನದ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್‌ಗಳು ವಿಪರೀತ ಕಠಿಣ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಅತೀ ಶಾಖ ಮತ್ತು ಕಂಪನಗಳ ಉಪಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಅದರ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಅದರ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ವಿನ್ಯಾಸಕರು ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್‌ನನ್ನೇ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಈ ತೆಳು ಪದರಗಳಿಂದಾದ ತಲಾಧಾರಗಳು ಹೆಚ್ಚಿನ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆ,

ವಿಶ್ವಾಸಾರ್ಹತೆ ಮತ್ತು ಬಾಳಿಕೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ವಿದ್ಯುತ್, ಉಷ್ಣ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಮತ್ತು ಯಾಂತ್ರಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಂಯೋಜನೆಯೊಂದಿಗೆ ತೀವ್ರ ತಾಪಮಾನ, ಕಂಪನ ಮತ್ತು ಇತರ ಬೇಡಿಕೆಯ ಪರಿಸರವನ್ನು ತಡೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಪದರ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣ ಪ್ರತಿರೋಧಕತೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಕೋಷ್ಟಕ 2 ರಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಕೋಷ್ಟಕ 2: ಕ್ಯಾಪ್ಟಾನ್ ಪದರಗಳ ದಟ್ಟತೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಉಷ್ಣ ಪ್ರತಿರೋಧಕತೆ

ಕ್ರ. ಸಂ.	**ಪದರಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ**	**ಪದರಗಳ ದಪ್ಪ (ಮೈಕ್ರಾನ್)**	**ಉಷ್ಣ ನಿರೋಧಕತೆ 10^{-3} (m^2K/W)**
1	ಒಂದು ಪದರ	50	0.159
2	ಎರಡು ಪದರ	100	0.240
3	ಮೂರು ಪದರ	150	0.353

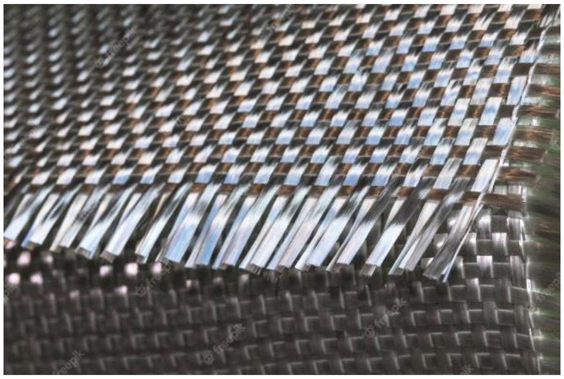
ಇಂಗಾಲದ ತಂತು ಸಂಘಟಿತ ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್ (ಕಾರ್ಬನ್ ಫೈಬರ್-ರಿಇನ್‌ಫೋರ್ಸ್ಡ್ ಪಾಲಿಮರ್-CFRP), ಹೆಸರೇ ಸೂಚಿಸುವಂತೆ, ಎರಡು ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಘಟಕಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ: ಕಾರ್ಬನ್ ಫೈಬರ್ ಮತ್ತು ಪಾಲಿಮರ್ ಸಂಯೋಜನೆಗಳು.

a. **ಕಾರ್ಬನ್ ತಂತುಗಳು(ಫೈಬರ್‌ಗಳು):** ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ, ತೆಳುವಾದ ಇಂಗಾಲದ ಎಳೆಗಳು CFRP ಯ ಬೆನ್ನೆಲುಬಾಗಿದೆ. ಉತ್ಪಾದನಾ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ, ಈ ಕಚ್ಚಾ ವಸ್ತುಗಳು ಇಂಗಾಲದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸಲು ಶಾಖ ಚಿಕಿತ್ಸೆಗಳ ಸರಣಿಗೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ, ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅಸಾಧಾರಣ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳೊಂದಿಗೆ ತಂತು ಸಂಘಟಿತ ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್ ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ.

b. **ಪಾಲಿಮರ್ ಸಂಯೋಜನೆಗಳು:** ಪಾಲಿಮರ್ ಮಾತೃಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಗಾಲದ ತಂತುಗಳನ್ನು ಹುದುಗಿಸಿ ತಯಾರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪಾಲಿಮರ್ ಮಾತೃಕೆಗಳು ಬಹು ಉಪಯೋಗಿಗಳಾಗಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತದೆ-ಇದು ಇಂಗಾಲದ ತಂತುಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟಿಗೆ ಬಂಧಿಸುತ್ತದೆ, ಭಾರವನ್ನು ತಂತುಗಳಿಗೆ ವರ್ಗಾಯಿಸುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ತೇವಾಂಶ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ಪರಿಸರಗಳ ವಿರುದ್ಧ ರಕ್ಷಣೆ ನೀಡುತ್ತದೆ. ಪಾಲಿಮರ್ ಸಂಯೋಜನೆಗಳು ಸಿಎಫ್‌ಆರ್‌ಪಿಯ ಉದ್ದಕ್ಕೂ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಸಮವಾಗಿ ವಿತರಿಸಲು ಸಹಾಯ ಮಾಡುತ್ತದೆ.

<u>ತಲಾಧಾರಗಳಿಗೆ ಬಳಸುವ ಇಂಗಾಲದ ತಂತುಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು:</u>

i. ಇಂಗಾಲದ ತಂತುಗಳು ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಮತ್ತು ತೂಕದ ಅನುಪಾತವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ (ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿ ಎಂದೂ ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ)
ii. ಇವು ತುಂಬಾ ಕಠಿಣವಾಗಿರುತ್ತವೆ
iii. ತುಕ್ಕು ನಿರೋಧಕ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುತ್ತದೆ
iv. ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕವಾಗಿದೆ
v. ಒತ್ತಡ ನಿರೋಧಕತೆಯೂ ಉತ್ತಮವಾಗಿದೆ
vi. ಉತ್ತಮ ಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ
vii. ಬೆಂಕಿ/ಅಗ್ನಿ ನಿರೋಧಕವಾಗಿದೆ
viii. ಉಷ್ಣ ವಾಹಕತೆ
ix. ಅತೀ ಕಡಿಮೆ ಉಷ್ಣೀಯ ವ್ಯಾಕೋಚನ ಸಹಾಂಕ (Low Coefficient of Thermal Expansion)
x. ವಿಷಕಾರಿಯಲ್ಲದ, ಜೈವಿಕವಾಗಿ ಜಡ, ಎಕ್ಸ್-ರೇ ಪ್ರವೇಶಸಾಧ್ಯ



ಚಿತ್ರ 7 ಕ್ಯಾಪ್ಟನ್ ಪಾಲಿಮೈಡ್ ಪದರ

(ಕೃಪೆ: vlitex)

ಇತರ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಸಂಸ್ಥೆಗಳ ಕೆಲವು ಅಭಿಯಾನಗಳಲ್ಲಿ, ಸೌರ ಕೋಶವಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಪರ್ಕಕ್ಕಾಗಿ ಜೋಡಿಸಲು ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಬೆಸುಗೆಯ (ವೆಲ್ಡ್) ಪ್ಯಾಡ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಸೌರ ಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ದುರಸ್ತಿಯನ್ನು ಸರಳಗೊಳಿಸಲು ಸಹ ಪ್ರತೀ ಸೌರ ಕೋಶಕ್ಕೆ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ವೆಲ್ಡ್ ಪ್ಯಾಡ್ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ವಿನ್ಯಾಸವು ಕೋಶದಲ್ಲಿ ಅತಿರಿಕ್ತತೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುತ್ತದೆ, ಮರು-ಬೆಸುಗೆ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಕೋಶ ಬದಲಿಸುವ ಅಗತ್ಯತೆಯೂ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

ಚಿತ್ರ 8 ತೆಳುವಾದ ಬಳುಕುವ ತಲಾಧಾರದ ಮೇಲೆ ಬಂಧಿತ ಸೌರಕೋಶಗಳು

(ಕೃಪೆ: https://grupoe4.com.br)

4. ಉಪಸಂಹಾರ

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕಾಗಿ, ಒಟ್ಟಾರೆ ಸೌರ ಫಲಕದ ಒಂದು ರೆಕ್ಕೆಯ ತೂಕ ಮತ್ತು ಅಡಕವಾಗಿ ಬಂಧಿಸಿಡುವ ಪರಿಮಾಣವನ್ನು ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಲು ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿನ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಭವಿಷ್ಯದಲ್ಲಿ, ಅಧಿಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಳಕೆಯ ಅಗತ್ಯ ವಿರುವ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಕಾರ್ಯಾಚರಣೆಗಳಿಗೆ ಹಗುರವಾದ, ಹೆಚ್ಚಿನ ದಕ್ಷತೆಯ ಸೌರ ಫಲಕದ ಸರಣಿಗಳ ಅಗತ್ಯವಿದೆ. ಅತ್ಯಾಧುನಿಕವಾದ ತೆಳುವಾದ/ ಬಳುಕುವ ತಲಾಧಾರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಫಲಕಗಳ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ಭೂಮಿಯಮೇಲೆ ವಿಧ ವಿಧ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷೆ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ, ಇದು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಫಲಕಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಸುಮಾರು 30 ರಿಂದ 40% ನಷ್ಟು ಕಡಿಮೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಈ ಫಲಕಗಳು ಹೆಚ್ಚಿನ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿ, ಉತ್ತಮ ನಿಯೋಜಿತ ಬಿಗಿತ ಮತ್ತು ನಿಯೋಜಿಸಲಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಈ ಲೇಖನದಲ್ಲಿ, ನಾವು ಭಾರತೀಯ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕಾಗಿ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲವನ್ನು ತಯಾರಿಸಲು ಬಳಸ ಬಹುದಾದ ಘಟಕಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಚರ್ಚಿಸಿದ್ದೇವೆ.

5. ಗ್ರಂಥಋಣ:

[1] https://www.nasa.gov/image-article/solar-arrays-international-space-station-2/

[2] On-orbit flight testing of the Roll-Out Solar ArrayAuthor links open overlay panel Matthew K Chamberlain a, Stephen H Kiefer b, Matt LaPointe b, Pete LaCorte b

[3] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024817306335

[4] https://www.researchgate.net/figure/Flexible-solar-panels-used-polymer-as-substrate-Pagliaro-2008-fig8-278391279

[5] Roll-Out Solar Arrays (ROSA): Next Generation Flexible Solar Array Technology September 2017 DOI:10.2514/6.2017-5307 Conference: AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition

[6] ROSA and Solar Cell Module Combined Environments Test Plan, Kenneth H Wright, Jr.1 , Bao Hoang2 , Todd A Schneider3 , Jason A Vaughn3 , Patrick Lynn 3 , Peter F. Bertone3 , Ira Katz4 , David T. Frate5 , Jeffrey S. Hojnicki5 , Jeremiah McNatt5 , and Brandon T. Klefman5

ಲೇಖಕರ ಕಿರು ಪರಿಚಯ

ಪುಷ್ಪಾಂಜಲಿ .ಹೆಚ್.ಸಿ, ಇವರು ಯು ಆರ್ ರಾವ್ ಉಪಗ್ರಹ ಕೇಂದ್ರವನ್ನು ಡಿಸೆಂಬರ್ 2012ರಲ್ಲಿ ಸೇರಿ ಕೊಂಡರು. ಇವರು ಸೌರಫಲಕ ವಿಭಾಗ, ಶಕ್ತಿ ಸಮೂಹದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯಾಗಿ ಸುಮಾರು 8 ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಸೇವೆ ಸಲ್ಲಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಇವರು ಸೌರಫಲಕಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ಪರೀಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ಪರಿಣತಿಯನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದಾರೆ. ಇವರು ಆರ್ ಐ ಸ್ಯಾಟ್–2ಬಿ ಮತ್ತು ಅದರ ಸರಣಿ ಉಪಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಜೆಕ್ಟ್ ಮ್ಯಾನೇಜರ್ ಆಗಿ ಸೌರಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸಿದ್ದು, ಪ್ರಸ್ತುತ ಜಿಸ್ಯಾಟ್–22, ತ್ರಿಷ್ಣ ಮತ್ತು ಅನ್ವೇಷ ಉಪಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಜೆಕ್ಟ್ ಮ್ಯಾನೇಜರ್ ಆಗಿ ಸೌರಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಕನ್ನಡ, ಹಿಂದಿ ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ಭಾಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಉ.ಆರ್.ಎಸ್. ಸಿ. ಮತ್ತು ಇತರ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಆಯೋಜಿಸುವ ತಾಂತ್ರಿಕ ಕಮ್ಮಟಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವು ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಬರೆದಿದ್ದಾರೆ. "ಕ್ಯಾನ್ಸಿ–ಇ" ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬಾಲ– ಬಾಲೆಯರಿಗೆ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪುಸ್ತಕ ಮಾಲೆ ಸರಣಿಗಾಗಿ ಕನ್ನಡದಲ್ಲಿ ಬರೆದಿದ್ದಾರೆ.

ರೂಪಾಲಿ ಸಾಹು, ಇವರು 2013ರಲ್ಲಿ ಬಿಲಾಯ್ ಇನ್ಸಿಟ್ಯೂಟ್ ಆಫ್ ಟೆಕ್ನಾಲಜಿ ಕಾಲೇಜಿನಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಪದವಿಯನ್ನು ಮುಗಿಸಿ, ಯು ಆರ್ ರಾವ್ ಉಪಗ್ರಹ ಕೇಂದ್ರವನ್ನು ಏಪ್ರಿಲ್ 2014ರಲ್ಲಿ ಸೇರಿ ಕೊಂಡರು. ಇವರು ಸೌರಫಲಕ ವಿಭಾಗ, ಶಕ್ತಿ ಸಮೂಹದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯಾಗಿ ಸುಮಾರು 9 ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಸೇವೆ ಸಲ್ಲಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಇವರು ಸೌರಫಲಕಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ಪರೀಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ಪರಿಣತಿಯನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದಾರೆ. ಇವರು ಜಿಸ್ಯಾಟ್–29, ಜಿಸ್ಯಾಟ್–7ಎ, ಸಿ ಎಮ್ ಎಸ್–01 ಮತ್ತು ಎನ್ ವಿ ಎಸ್–01 ಉಪಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಜೆಕ್ಟ್ ಮ್ಯಾನೇಜರ್ ಆಗಿ ಸೌರಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸಿದ್ದು, ಪ್ರಸ್ತುತ ಗಗನಯಾನ ಸೌರಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸಹ ಅಭಿಯಂತರರಾಗಿ ಮತ್ತು ಎನ್ ವಿ ಎಸ್–03 ಉಪಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಜೆಕ್ಟ್ ಮ್ಯಾನೇಜರ್ ಆಗಿ ಸೌರಫಲಕಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಬಾಲ ಬಾಲೆಯರಿಗೆ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಪುಸ್ತಕ ಮಾಲೆ ಸರಣಿಗಾಗಿ "ಕ್ಯಾನ್ಸಿ–ಇ" ಪುಸ್ತಕಕ್ಕೆ ತಮ್ಮ ಸಹಯೋಗವನ್ನು ನೀಡಿದ್ದಾರೆ. ಕನ್ನಡ, ಹಿಂದಿ ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ಭಾಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಉ.ಆರ್.ಎಸ್. ಸಿ. ಮತ್ತು ಇತರ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಆಯೋಜಿಸುವ ತಾಂತ್ರಿಕ ಕಮ್ಮಟಗಳಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಪ್ರಬಂಧಗಳನ್ನು ಮಂಡಿಸಿದ್ದಾರೆ.