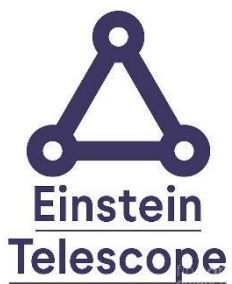


DOMEIN 4 - OPTICA



Openstellingstekst

Domein 4: Optica

Uitdaging: Ontwikkeling en demonstratie van siliciumspiegels voor zeer nauwkeurige interferometrie bij cryogene temperaturen

Versie 1.0 (31.05.24)

Output Programmacommissie Fase 2: Domein 3 - Optica

De openstellingstermijn, bedoeld in artikel 8, eerste lid, van de R&D-regeling technologiedomeinen Einstein Telescope voor het technologiedomein Optica loopt vanaf 7 juli 2024 tot en met 12 september 2024 om 23:59 uur. Het subsidieplafond, bedoeld in artikel 11, tweede lid, van de R&D-regeling technologiedomeinen Einstein Telescope bedraagt € 2.500.000,00.

Uitwerking technologiedomein Optica

1. Introductie

De toekomstige Einstein Telescope (hierna: ET) is een observatorium voor zwaartekrachtgolven dat afhankelijk is van de meting van minieme relatieve lengteverschillen tussen de kilometerslange armen van een laserinterferometer. Optische systemen zijn een cruciaal aspect van ET; de 200 kg super gepolijste spiegels met speciaal geoptimaliseerde coatings aan de uiteinden van de armen dienen als testmassa's; een ultrastabiele laser levert de monochromatische laserstralen die de testmassa's peilen; talloze extra optische systemen en sensoren dienen om het instrument te controleren en te stabiliseren om de signatuur van de passage van een zwaartekrachtgolf door ET te kunnen detecteren als een minuscule 'flikkering' in de fotodetector (fotodiode) die de intensiteit van de samengevoegde laserstralen registreert. Hieronder staat een nadere toelichting.

2. Uitdaging samengevat

Ontwikkelen en interferometrisch testen van grote (10-45 cm diameter) siliciumspiegels met een bulkabsorptie voor 1550 Newtonmeter (hierna: nm) laserlicht van minder dan een paar delen per miljoen (hierna: ppm) per cm en super gepolijste oppervlakken met een vlakheid van minder dan ± 2 nm, een kwadratisch gemiddelde ruwheid van minder dan 100 picometer (hierna: pm). De gepolijste oppervlakken moeten een gemiddelde laserlicht absorptie van minder 50 ppm hebben (waarvan de oorsprong bekend moet zijn) en gecoat zijn met een ruisarme, hoge reflectiviteit coating met een absorptie van minder dan 5 ppm.

3. Uitdaging van optica in meer detail

Een van de unieke eigenschappen van ET is het gebruik van cryogeen gekoelde silicium spiegels om de gevoeligheid voor lage gravitatiegolf frequenties (onder de 20 Hertz (hierna: Hz) aanzienlijk te verbeteren door de thermische ruis in met name de spiegelcoatings en -suspensies te verminderen. Bepaalde types kristallijn silicium, een bekend materiaal uit de halfgeleiderindustrie, zijn ideaal voor dit doel; naast zijn uitstekende mechanische kwaliteitsfactor vertoont silicium een verwaarloosbare thermische uitzettingscoëfficiënt bij temperaturen rond de 120 en onder de 20 Kelvin (hierna: K), en, wat nog belangrijker is, het wordt een uitstekende thermische geleider bij een lage temperatuur. Thermische spiegelvervormingen zullen sterk verminderen in vergelijking met glazen (amorfe siliciumdioxide) spiegels.

Wat betreft het kristallijne siliciumsubstraat, of ingot, moet de bulkabsorptie van het laserlicht dat de spiegels verwarmt onder ongeveer 5 ppm/cm worden gehouden om de spiegels, met name bij 20 K, op een stabiele cryogene temperatuur te kunnen houden. Aangezien resterende vrije ladingsdragers de absorptie domineren bij de beoogde golflengten van 1,5 - 2,0 micrometer (hierna: μm), zijn substraten met een hoge weerstand (beter dan 10 k Ωcm) vereist. Terwijl float-

zone gegroeid silicium de vereiste hoge weerstand bereikt, is het technisch beperkt tot kleinere diameters. Groeiprocessen die grote substraten bereiken met weinig onzuiverheden, zoals magnetisch ondersteunde Czochralsky-processen, moeten verder worden onderzocht.

Polijsprocessen die dezelfde specificaties kunnen leveren op siliciumsubstraten moeten onderzocht worden en hun kwaliteit moet bewezen worden door geschikte metrologie, inclusief parameters zoals doorgelaten golffrontvervorming en absorptie op het oppervlak en in de bulk. Met het oog op de verschillende golflengtes en de cryogene temperaturen moeten er geheel nieuwe meerlaagse coatings worden ontwikkeld.

4. Specifieke doelstelling(en) binnen dit domein

Binnen dit domein zijn de volgende specifieke uitdagingen waarbij de inbreng van het bedrijfsleven is gewenst.

Ontwikkelen en interferometrisch testen van grote (10-45 cm diameter) siliciumspiegels met een bulkabsorptie voor 1550 nm laserlicht van minder dan een ppm per cm en super gepolijste oppervlakken met een vlakheid van minder dan ± 2 nm en een kwadratisch gemiddelde ruwheid van minder dan 100 pm.

Hierbij zijn de volgende elementen van belang:

- Het onderzoeken van de correlatie van het polijstproces en de absorptie van de 1550 nm laserlicht aan de oppervlakte van de spiegels met het doel de absorptie te reduceren.
- Het ontwikkelen en testen van nieuwe materialen voor coatings met een hoge reflectiviteit, lage thermische ruis bij een temperatuur van 20 K en een lage absorptie voor 1550 nm laserlicht.

5. Gerelateerde projecten

In een aantal gerelateerde projecten is reeds vooronderzoek gedaan naar deze technologie:

- ETpathfinder: In dit project – tevens de R&D faciliteit voor de Einstein Telescope – kan de opstelling worden geïntegreerd en getest.
- LIGO / VIRGO: De polijstspecificaties van het silicium zullen voor de meeste parameters vergelijkbaar zijn met de zeer hoge eisen die momenteel worden gesteld aan amorfe siliciumdioxide voor de LIGO- en Virgo-observatoria. Deze spiegels (ongeveer 40 kg per stuk) worden gepolijst met een kromtestraal van ongeveer 2 km, met een vlakheid van ± 2 nm en een ruwheid van minder dan 0,1 nm. Deze precisie wordt bereikt met behulp van elektrolytisch polijsten, beitsen met ionenbundel en corrigerende coatings. De reflectiviteit van deze spiegels is 99,999%, de gemeten bulkabsorptie van de spiegel substraat is minder dan 1 ppm/cm, en de absorptie van de coatings is minder dan 0.5 ppm per coating.