

Is er iets bekend over de interactie tussen grafeen en 26GHz?

Ja, er is veel bekend over de interactie tussen grafeen (of graphene-assembled films/GAF) en 26 GHz (mmWave-band voor 5G). Dit komt vooral uit materiaalwetenschap en antenne/RF-onderzoek. Hier een concrete overzicht van gemelde interacties (puur op basis van studies en toepassingen, zonder interpretatie):

Antennes en signaalverwerking bij 26 GHz

- **Graphene-assembled films (GAF)** worden gebruikt voor phased array antennes die specifiek werken op **26 GHz**. Ze bieden bredere bandbreedte (bijv. 25.81–26.23 GHz), lagere sidelobes en betere beam-scanning (bundels van -28° tot $+28^\circ$) vergeleken met koper. Ze zijn flexibel, licht en hittebestendig.
- **Vloeibare grafeen-antennes** (graphene-based liquid antennas) resoneren exact op 26 GHz (naast 24, 28 en 30 GHz) door volume-aanpassing in microfluidische kanalen. Dit maakt dynamische frequentie-aanpassing mogelijk voor 5G mmWave.
- Graphene-transistors haalden al in 2008 een cutoff-frequentie van **26 GHz** (gate length 150 nm). Moderne varianten ondersteunen mmWave voor 5G.

Absorptie en shielding bij 26 GHz

- **Graphene films** excelleren in **EMI-shielding** (elektromagnetische afscherming) rond 26 GHz. Een 15–50 μm dikke GAF-laag geeft tot 100–127 dB shielding in de 18–40 GHz range (incl. 26 GHz), beter dan koper van dezelfde dikte door absorptie + multiple reflections. Per dikte: tot ~ 7.000 dB/mm.
- **Grafeen-composieten** (bijv. met rubber) absorberen mmWave in de 26.5–40 GHz band sterk, met reflectieless tot -45 dB rond 35 GHz. Dit wordt onderzocht voor 5G-absorberende materialen.

Andere interacties

- Graphene verhoogt efficiëntie in transmissielijnen en resonators bij 26 GHz met lage verliezen (bijv. 0.27 dB/cm bij hoge conductiviteit $\sim 2.58 \times 10^6$ S/m).
- Het wordt getest in flexibele, wearable en reconfigurable 5G mmWave-systemen vanwege tunable eigenschappen (via Fermi-level of structuur).

Samenvatting op interactieniveau: Grafeen interageert sterk met 26 GHz door hoge conductiviteit, absorptie, reflectie en tunable plasmon-resonances. Het wordt vooral toegepast om antennes efficiënter, flexibeler en breder bandbreedte te maken, plus als shielding/absorber. Dit is actief onderzoek voor 5G/6G-componenten.

Als je specifieke aspecten wilt (bijv. absorptie vs. emissie, composieten, of locaties van tests), geef meer details voor gerichtere info.

Wat zijn tunable plasmon resonances?

Tunable plasmon resonances (ofwel afstembare plasmonresonanties) zijn collectieve oscillaties van elektronen in een materiaal (zoals grafeen, metalen nanodeeltjes of nanostructuren) die sterk interageren met elektromagnetische golven (licht of mmWave). Het "tunable"-aspect betekent dat je de resonantiefrequentie, intensiteit of breedte dynamisch kunt aanpassen zonder de structuur fysiek te veranderen.

Basisuitleg

- Plasmon: Een quantum van plasma-oscillaties — elektronen in een materiaal oscilleren collectief als een golf.
- Resonance: Dit gebeurt het sterkst bij een specifieke frequentie (resonantiefrequentie), waarbij het veld enorm versterkt wordt (lokaal tot 1000x of meer) en licht sterk geabsorbeerd of verstrooid wordt.
- Surface Plasmon Resonance (SPR) of Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR): Vaak aan het oppervlak of in kleine structuren (nanoribbons, nanoshells, etc.).

In conventionele metalen (goud, zilver) zijn plasmonresonanties grotendeels vast (afhankelijk van grootte, vorm en omgeving). Bij grafeen zijn ze uitstekend tunable door de unieke elektronische eigenschappen.

Hoe werkt de tunability (vooral bij grafeen)?

De resonantiefrequentie hangt af van de carrier density (elektronen/gaten-concentratie) in grafeen. Dit kun je aanpassen via:

- Electrostatistische gating (spanning aanleggen): Verandert de Fermi-energie (E_f), typisch 0.3–1.2 eV.
- Chemische doping.
- Mechanische deformatie (crumpled graphene).
- Optische excitatie (hot electrons).

Voorbeeld bij 26 GHz / mmWave:

- In grafeen-antennes of -arrays verschuift de resonantie van bijv. 245 GHz naar 269 GHz door de chemical potential te verhogen van 0.3 eV naar 1.2 eV.
- Dit maakt reconfigurable antennes, absorbers, sensors en shielding mogelijk in de 5G/6G-mmWave-band.

Toepassingen (relevant voor eerdere context)

- Antennes & 5G: Tunable phased-array antennes met bredere bandbreedte en beam-steering.
- Absorbers/shielding: Sterke EMI-afscherming rond 26 GHz door hoge absorptie.
- Sensors: Zeer gevoelige detectie van biomoleculen, gassen of RI-veranderingen (refractie-index) door verschuiving van de resonantie.
- Modulators & metamaterialen: Snelle aan/uit-schakeling of fasecontrole van signalen.

- THz en IR: Vaak sterker in THz-bereik, maar principes gelden ook voor mmWave.

Kortom: Tunable plasmon resonances maken grafeen extreem nuttig voor dynamische, aanpasbare componenten bij frequenties zoals 26 GHz — iets wat met traditionele metalen veel moeilijker is. Het is puur een fysisch/optisch verschijnsel gebaseerd op elektronenoscillaties.