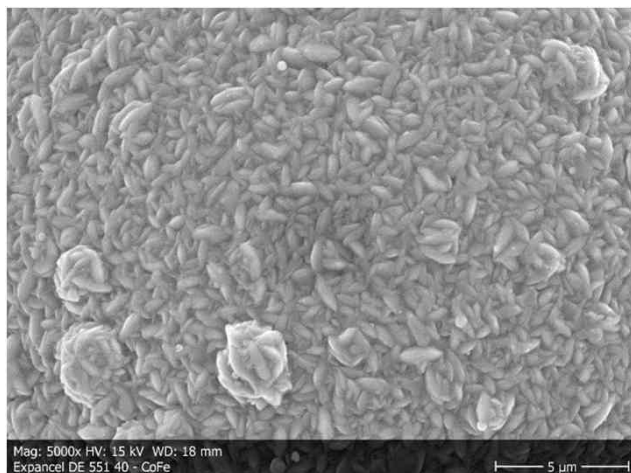




ABSOWIDE- Laajakaistainen ultrakevyt RF- taajuusalueen absorptioratkaisu

MATINE Vuosiseminaari 16.11.2017

Pertti Lintunen, Arto Hujanen VTT



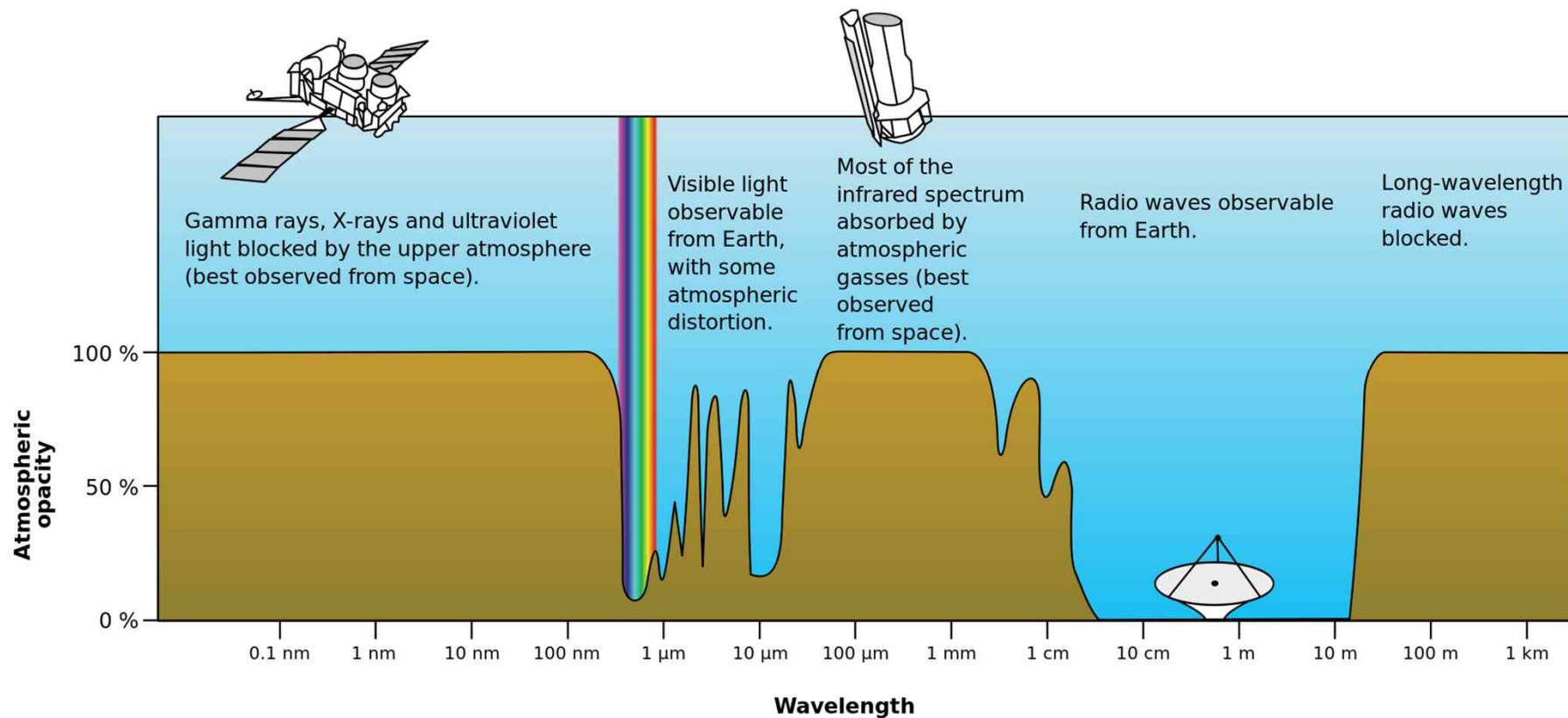
ABSOWIDE, projektin perustiedot

- Laajakaistainen ultrakevyt RF- taajuusalueen absorptioratkaisu- ABSOWIDE
- Tutkimussopimuksen projektikoodi 2500M-0076
- MATINEn jaosto: Materiaalit ja tuotantotekniikka (MAT)
- Projektin ohjausryhmä:
 - Irmeli Tuukkanen ja Jouko Haapamaa, PVTUTKL
 - Pertti Lintunen, Tomi Lindroos, Arto Hujanen, VTT
- Projektin 1.vuosi meneillään, vuodelle 2017 myönnetty rahoitus 55 000€

Häivetekniikka, taustaa

- Sähkömagneettisen spektrin käyttö ja samalla riippuvuus sen häiriöttömästä toiminnasta on lisääntynyt viime aikoina sodankäynnissä.
- Muotoilun avulla pyritään sirottamaan tutkasta kohteeseen suunnattu säteily lähettäjistä poispäin.
- Muotoilun ja elektronisen suojauksen lisäksi voidaan sähkömagneettisen säteilyn synnyttämiä herätteitä hallita materiaaliteknologian avulla
- Absorboivat materiaalit muuntavat tutkan lähettämän sähkömagneettisen säteilyn lämmöksi.
- *”Kuvantavan tutkateknologian pientyminen ja tarkkuuden kasvaminen sekä laser- ja moni- sekä hyperspektritekniologiat edellyttävät joukkojen häiveteknisen suojan parantamista. Vastasensoritekniologioita kehittämällä sekä **uusien materiaali- ja rakenneteknologioiden** käyttöön ottamisella pyritään osaltaan vastaamaan sensoritekniologioiden kehittyvään uhkaan.”*
Puolustusvoimien tutkimusagenda 2015

Häivetekniikka, sähkömagneettisen säteilyn spektri



Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity.svg

ABSOWIDE, tutkimuksen tavoite

Tutkimussuunnitelman mukaiset tavoitteet:

- Hyödyntämällä kehittyneitä simulointityökaluja optimoida suorituskykyinen ja kevyt vaimennusrakenne mitattujen materiaaliparametrien pohjalta.
- Mitoittaa, valmistaa ja todentaa mittauksin isotropiaan tai anisotropiaan perustuva vaimennuskerros joka mahdollistaa perinteistä isotrooppista kerrosta >50% kevyemmän ratkaisun
- Mitoittaa, valmistaa ja todentaa mittauksin häviöllisellä sovitekerroksella saavutettava painon kevennys sekä taajuuskaistan leveneminen
- Tavoiteltava vaimennus -10dB yhtäaikaisesti X ja Ku taajuuskaistalla, 50% nykyistä kevyemmällä rakenteella.

Tutkimustyön teema-alueita ovat:

- Kehittyneiden simulointityökalujen hyödyntäminen monikerrosrakenteiden optimoinnissa käyttäen lähtöarvoina yksittäisistä kerroksista mitattuja materiaaliparametreja.
- Valittujen täyte- ja tehoaineiden modifiointi vaimennuskyvyn tehostamiseksi monikerrosrakenteissa.
- Monikerroksisten komposiittirakenteiden valmistustekniikat sekä koekappaleiden valmistus mittauksiin.
- Mikroaaltoalueen sähköisten ja magneettisten parametrien mittaukset ja absorptio-ominaisuuksien todentaminen laboratoriomittauksin.

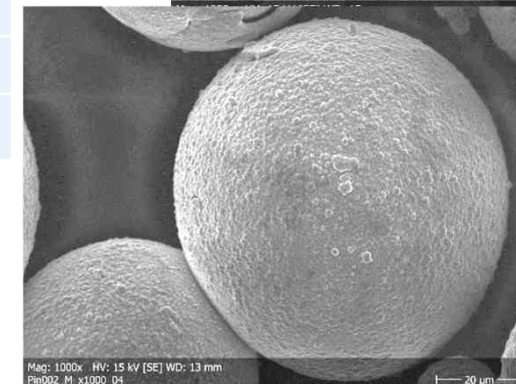
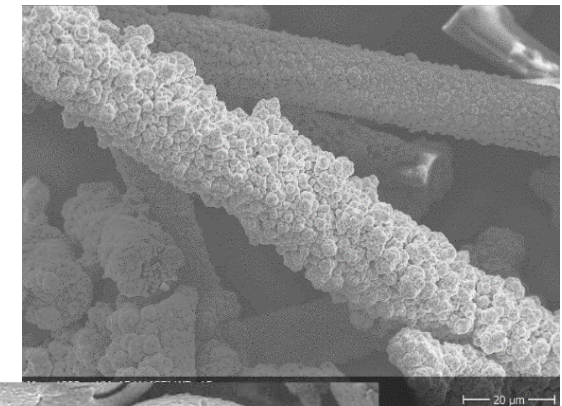
ABSOWIDE, taustaa

- Aiemmissa MATINE hankkeissa syntynyt tieto materiaalikoostumuksen vaikutuksesta sähkömagneettisiin ominaisuuksiin ja kokemus häivemateriaalien valmistettavuudesta on luonut pohjan ABSOWIDE projektille
- Täyteainepitoisuuden vaikutuksesta absorptiomateriaalin suorituskykyyn on saatu arvokasta tietoa ja on löydetty täyteainepitoisuudelle raja-arvo, jolla tavoitellut vaimennusominaisuudet saavutetaan.
- Kun riittävä vaimennuskyky saavutettiin, niin syntyi kehitystarve neliöpainoltaan kevyempiin ratkaisuihin.
- Kun yksikerrosratkaisuilla saavutettiin 53 % painonkevennys suorituskyvyn pysyessä asetetussa tavoitteessa, niin kehitystarve kohdistettiin vaimennuskaistan leventämiseen käyttäen sovitekerrosta hyväksi (monikerrospinnoitteet) => ABSOWIDE

ABSOWIDE, taustaa aiemmat havainnot & tulokset

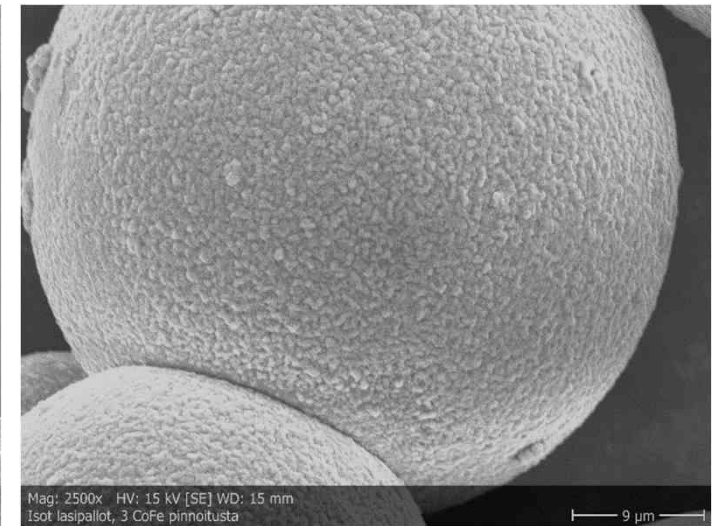
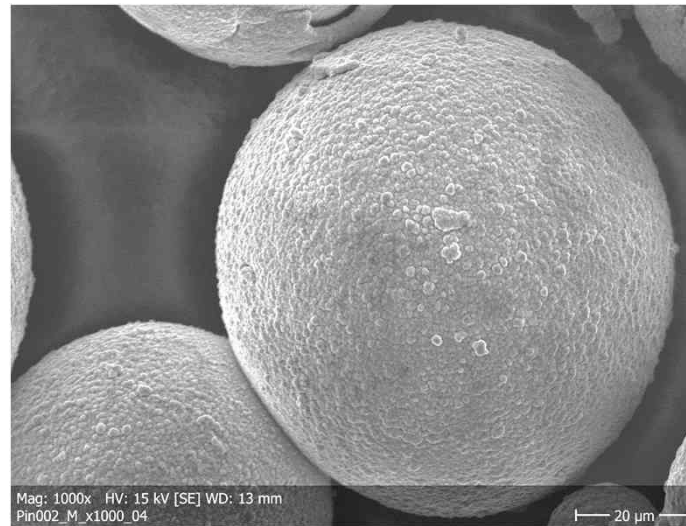
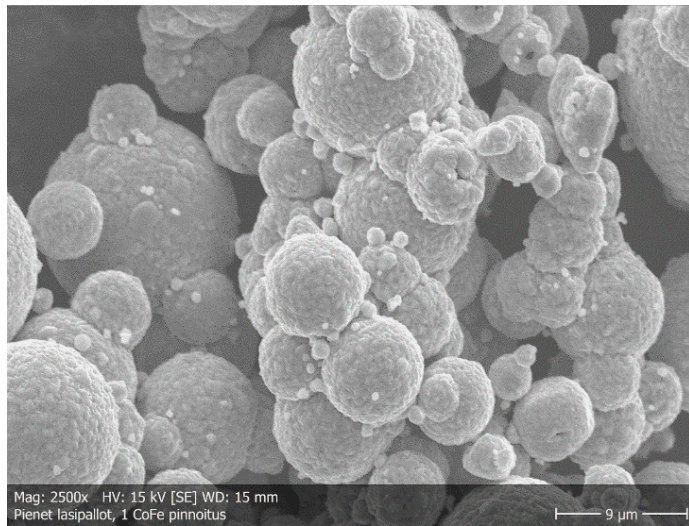
- Aiemmissä hankkeissa vaimennustavoitteena oli vähintään -10dB vaimennus, kaistanleveydellä >2 GHz, 9 GHz:n tarkastelutaajuudella
- Tämä saavutettiin 30 ja 40 p% täyttöasteella mikropallojen 45P25 ja 34P30 tapauksessa
- Kuitujen tapauksessa 40 p% täyttöasteella annettu vaimennustavoite saavuttiin
- Kun resonanssitaajuus sovitetaan pinnoitepaksuudella 9 GHz taajuudelle saatiin laskennallisesti seuraavat neliöpainot häiveratkaisuille:

<u>Neliöpainot</u>			
Fe (ref)	Pinnoitettu kuitu 40%	Pinnoitettu mikropallo 45P25 40%	Pinnoitettu mikropallo 34P30 40%
7,1 kg/m ²	4,0 kg/m ²	3,3 kg/m ²	3,3 kg/m ²

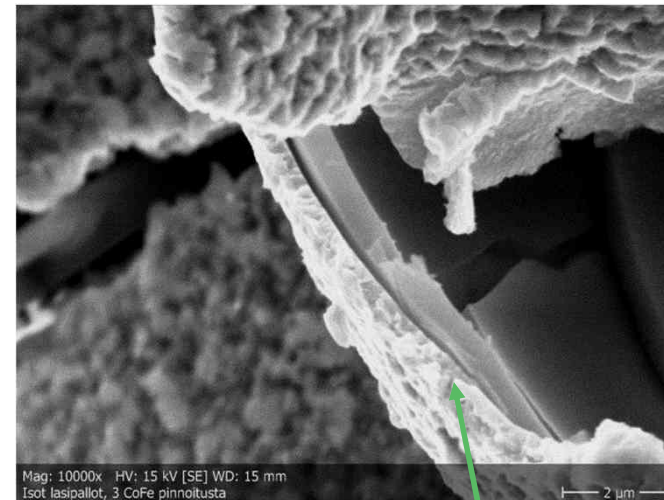
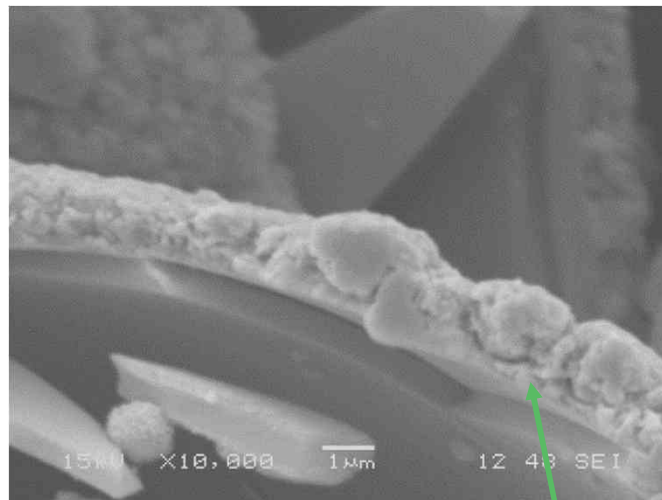


ABSOWIDE, taustaa pinnoitettujen mikropallojen karakterisointi

SEM, pintakuvat



SEM, poikkileikkaus



10.11.2017

45P25

34P30

pinnoitekerros

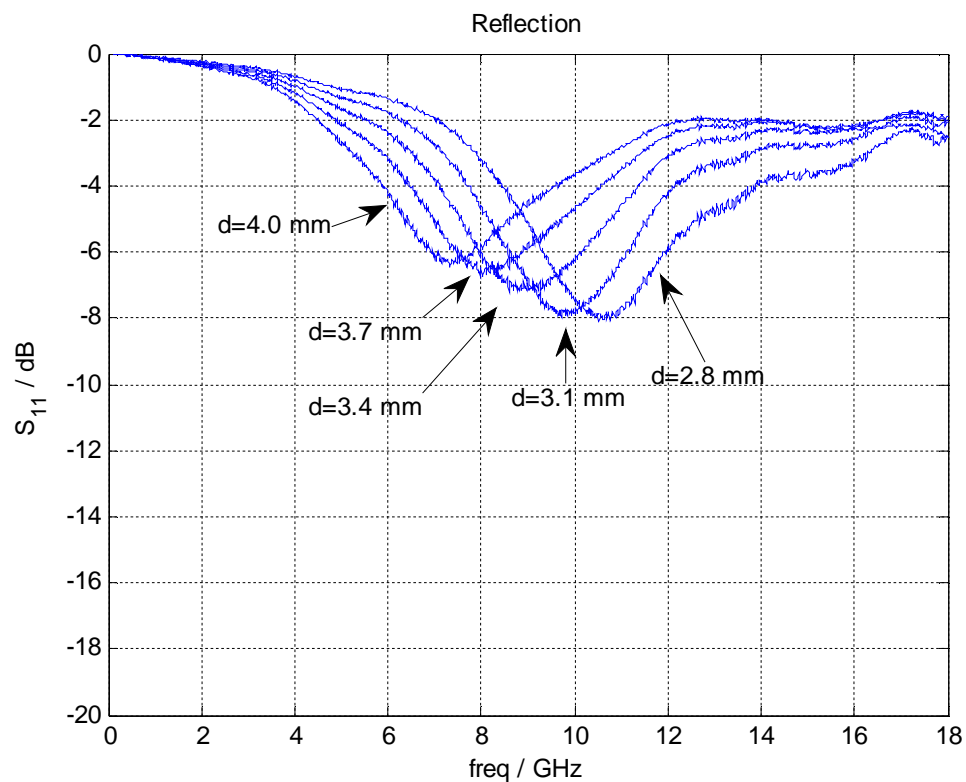
pinnoitekerros

ABSOWIDE, taustaa

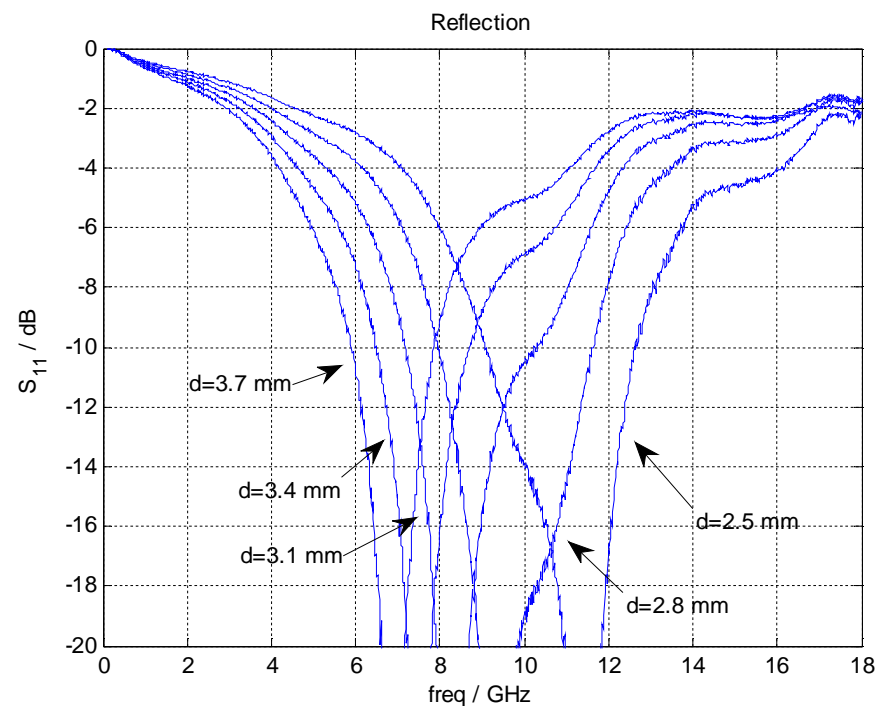
Aiemmat mittaukset: tulosesimerkkejä & laskentaa

- Kun täyttöaste on 40 p% lasketut vaimennukset eri pinnoitepaksuuksille. Täyteaine pinnoitettu mikropallo laatu **110P8** (pieni) ja **34P30** (iso)

110P8



34P30

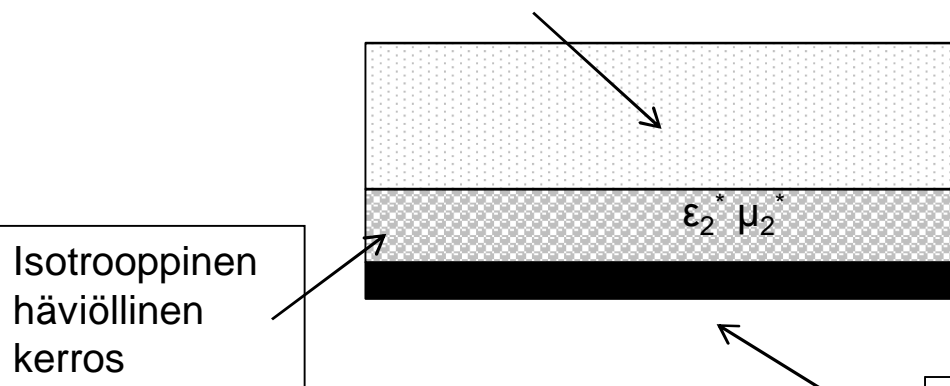


ABSOWIDE, monikerrosrakenteen periaate

- Perustuu mahdollisuuteen säätää kerrosten elektromagneettisia ominaisuuksia, joiden pohjalta voidaan laskea 2-kerrosrakenteen simulaatiot kokonaisvaimennuksen optimoimiseksi.

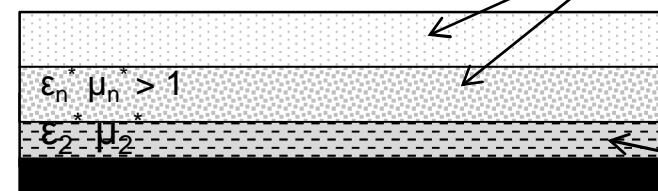
A) Nykyinen

Sovitekerros: ϵ_1^* , $\mu_1^* = 1$



B) Uusi

Häviöllinen sovitekerros 1...n
 ϵ_1^* , $\mu_1^* > 1$



Isotrooppinen tai anistrooppinen häviöllinen kerros

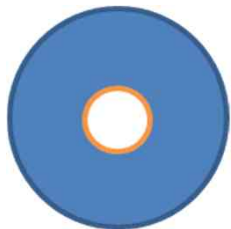
Johtava tausta

ABSOWIDE, täyteaineet

- Epoksipohjaiseen matriisiin sekoitettavia täyteaineita:
 - ontot lasipallot, paisutetut muovipallot sellaisenaan, keveys
 - pinnoitetut ontot lasipallot tai paisutetut muovipallot, keveys+häviöt
 - myös pienillä lisäyksillä ferromagneettista partikkelia tai esim.hiilinanoputkia voidaan magneettisia -ja sähköisiä häviöitä kasvattaa ilman merkittävää painon lisääystä
- Tavoitteena pitää häviöllisen sovitekerroksen tiheys reilusti alle 1 g/cm^3
- Valmistusteknisesti helpointa jos voitaisiin toteuttaa yhdellä täyteainelisäyksellä
- Keveystavoitteen ja sopivien häviöiden aikaansaamiseksi todennäköisesti tarvitaan useampia täyteaineita samanaikaisesti

ABSOWIDE, komposiittimateriaalin valmistus

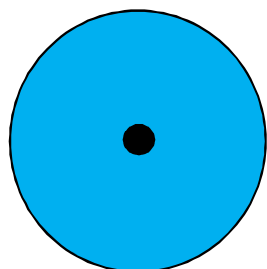
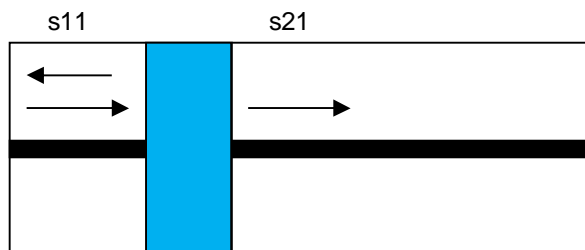
- Lähdettiin liikkeelle hartsi- täyteaine komposiiteilla. Valittiin tunnettu, yleisesti käytössä oleva laatu.
- Hartsimäärät 50-200 g sekoituksen kannalta suhteellisen helppo toteuttaa olemassa olevalla laitekannalla, pienemmät erät voidaan tehdä käsisekoituksella.
- Valmistettavuuden kannalta tehoaineen partikkelikoko ja keveys tuovat haasteita: mitä pienempi ja kevyempi partikkeli sitä haasteellisempaa on dispergoida haluttu määrä matriisiin
- Kun saavutettu riittävä taso komposiittimateriaalin homogeenisuudelle valmistetaan rengasmaiset kappaleet mittauksiin:



Frequency range	Outer diameter / mm	Tolerance	Inner diameter / mm	Tolerance
0.1-18 GHz	7.00	+0.0/-0.05 mm	3.04	+0.05/-0.0 mm

ABSOWIDE, absorptiomittaukset

- Mittauksissa käytetään koaksiaalista näytteenpidintä



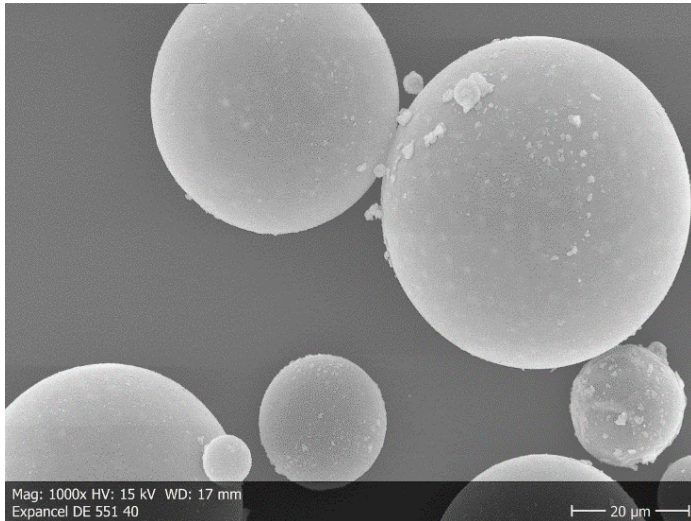
Sample inside coaxial line



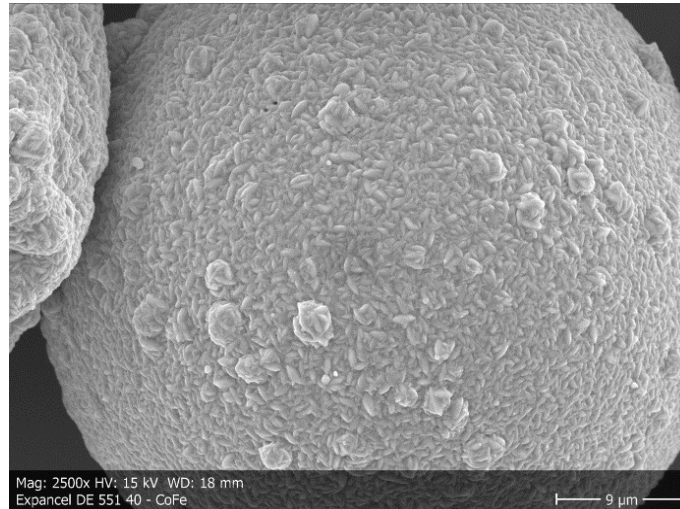
Frequency range	Outer diameter / mm	Tolerance	Inner diameter / mm	Tolerance
0.1-18 GHz	7.00	+0.0/-0.05 mm	3.04	+0.05/-0.0 mm

- Mittausten ja laskennan tuloksista saadaan palautetta tehoaineiden modifiointia varten sekä optimaalisen tehoainemäärän valitsemiseksi komposiitin valmistusta varten

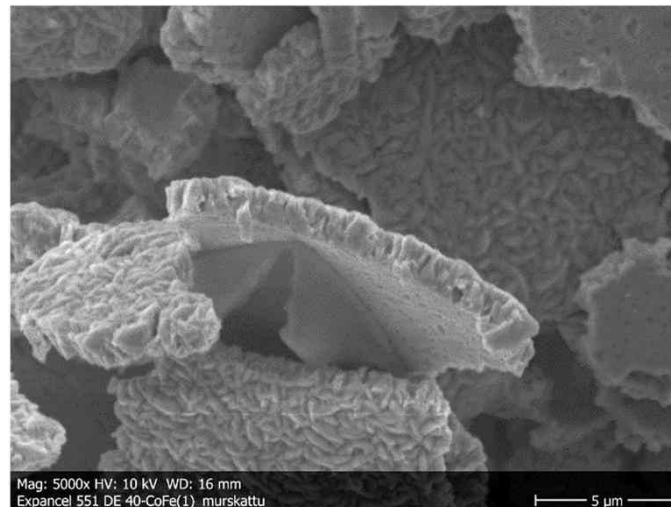
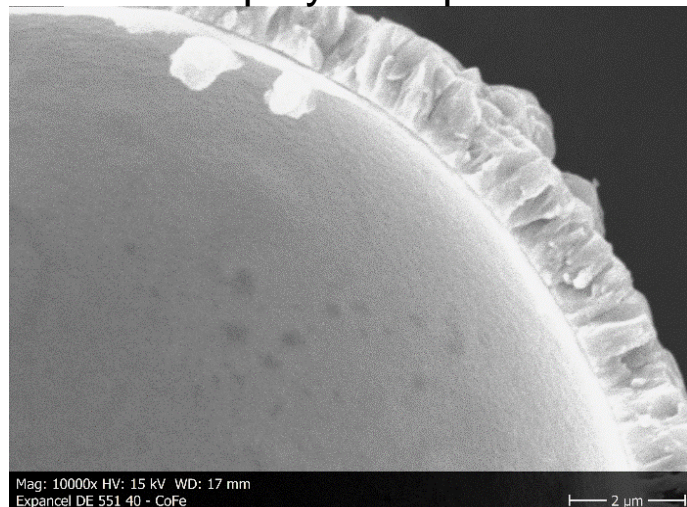
ABSOWIDE, pinnoitukset



SEM- kuva polymeeripalloista



SEM- kuva CoFe- pinnoitetun polymeeripallon pintarakenteesta



SEM- kuva CoFe- pinnoitetun polymeeripallon pinnoitekerroksen poikkileikkauksesta

Kerrospaksuus 1,5-2,0 μm

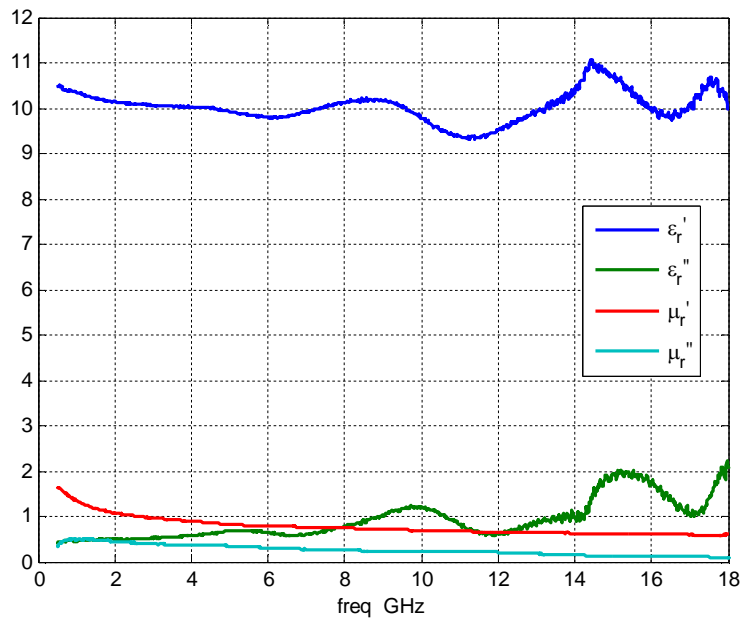
- Pinnoitekerroksen koostumus Co~6 p-%Fe (autokatalyyttinen reaktio)
- Pinnoitekerroksen Fe- pitoisuutta onnistuttu kasvattamaan, tällöin reaktioaika kasvaa ja vaatii enemmän ulkopuolista energiaa

ABSOWIDE, 2-kerrosratkaisut

Valitut häviökerrokset

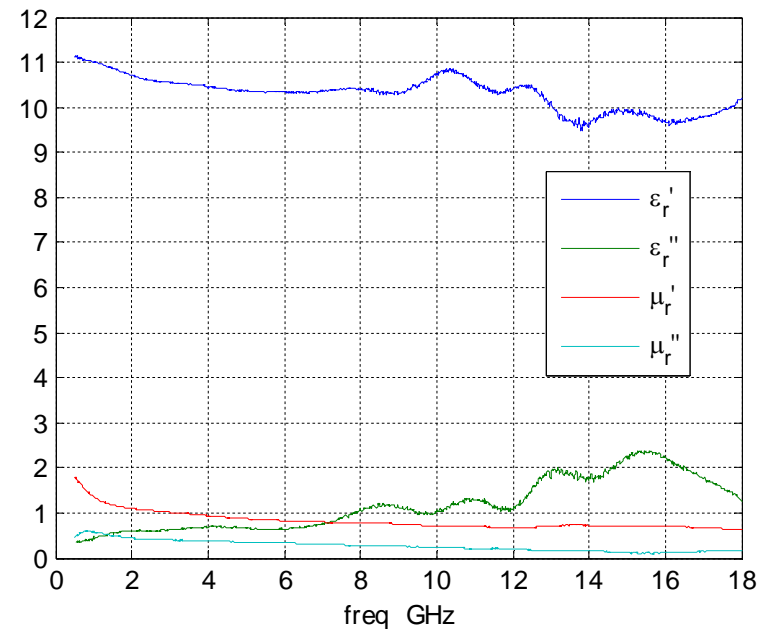
Vaihtoehto 1 ABSOLUTE 08-40,

- Epoksi-40 p% CoFe pinnoitettu lasipallo
- Tiheys $\sim 1,1 \text{ g/cm}^3$



Vaihtoehto 2 AW005

- Epoksi-45 p% CoFe pinnoitettu lasipallo
- Tiheys $\sim 1,1 \text{ g/cm}^3$

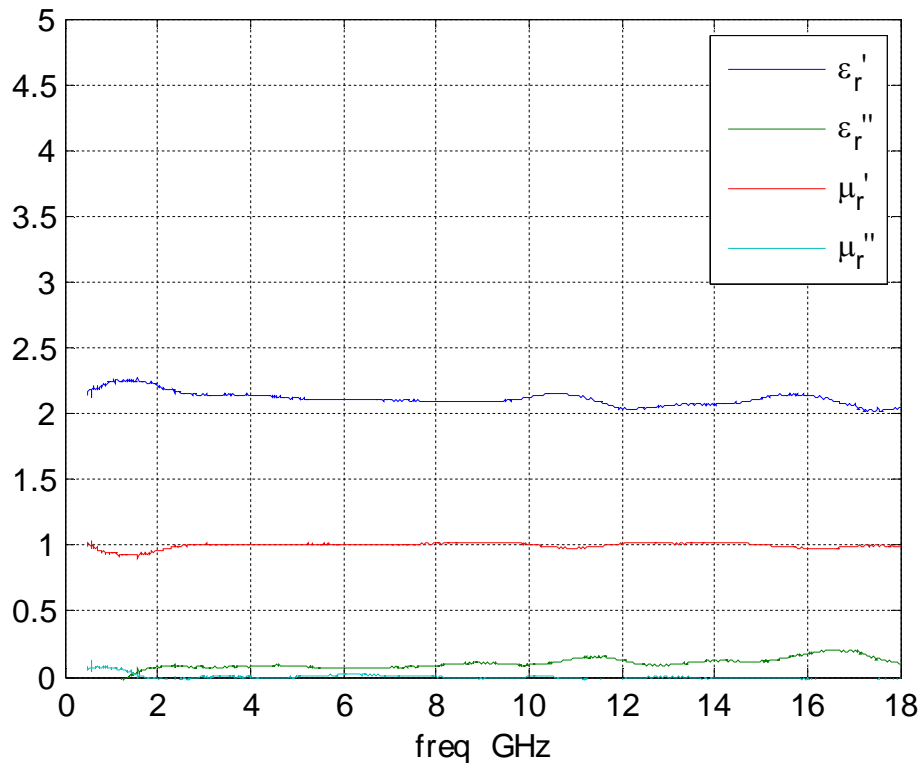


ABSOWIDE, 2-kerrosratkaisut



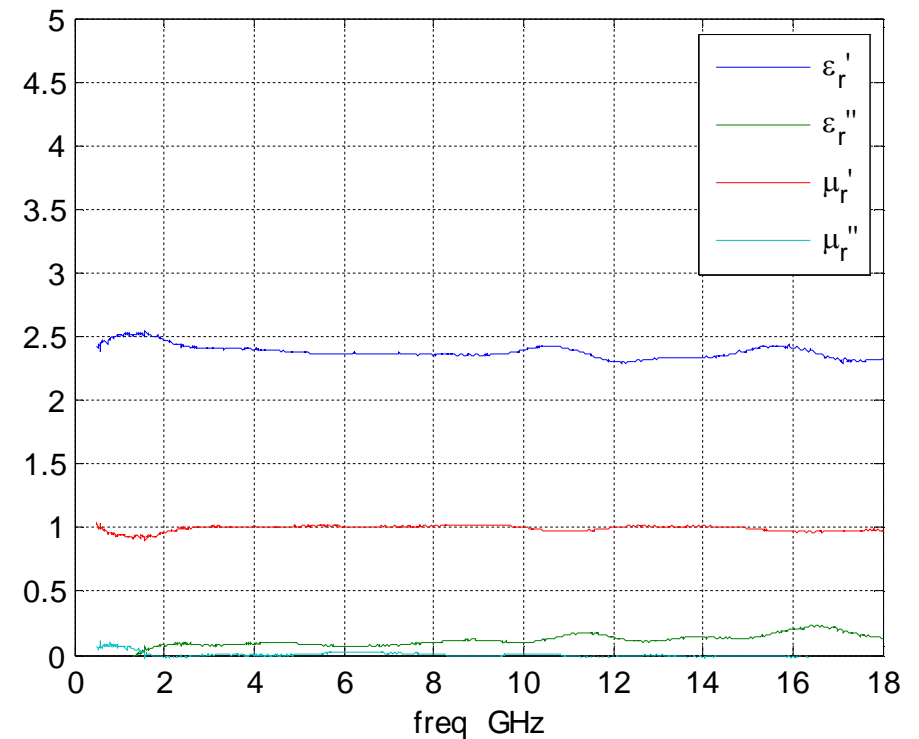
Esimerkkejä valmistetuista ja mitatuista sovitekerrosmateriaaleista

Mitatut materiaaliparametrit:
Absowide_AW033



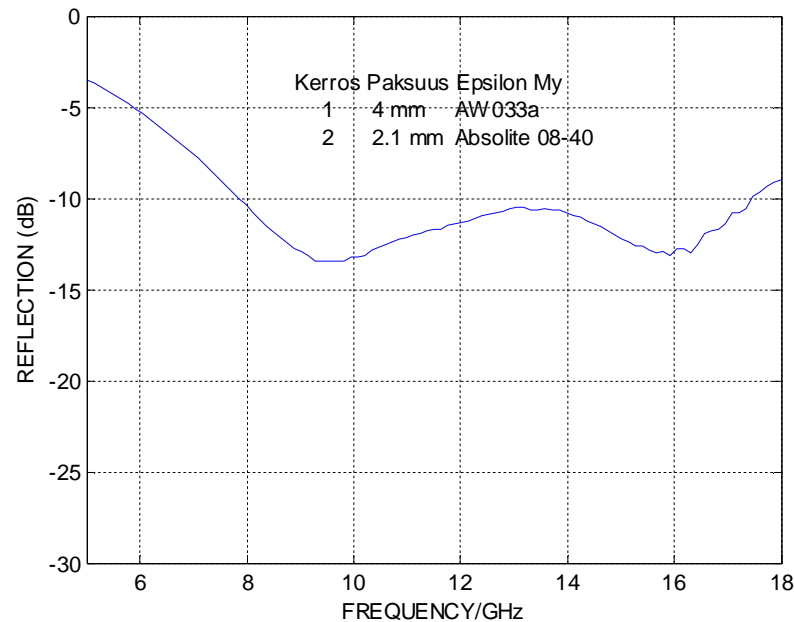
Tiheys 0,54 g/cm³, Epoksipitoisuus 96 p-%

Mitatut materiaaliparametrit:
Absowide_AW031



Tiheys 0,48 g/cm³, Epoksipitoisuus 95 p-%

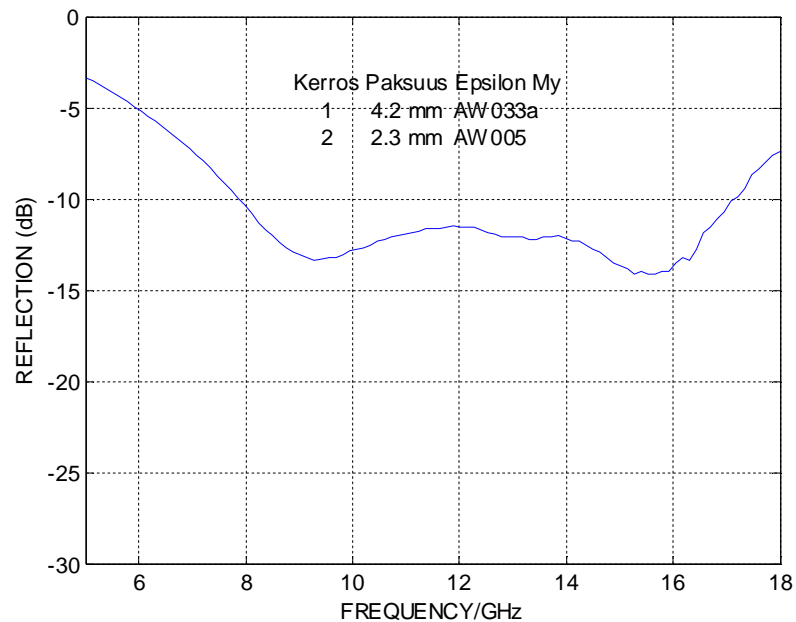
ABSOWIDE, 2-kerrosrakenteen simulaatiot



Sovite : AW033, paksuus 4.0 mm
Absolite 08-40, paksuus 2.1 mm

AW033+Absolite 08-40

- neliöpaino $2,16+2,31=4,47 \text{ kg/m}^2$



Sovite : AW033, paksuus 4.2 mm
Absolite AW005, paksuus 2.3 mm

AW033a+AW005

- neliöpaino $2,27+2,51=4,78 \text{ kg/m}^2$

ABSOWIDE Yhteenveto

- Mikropallojen ja polymeeripallojen pinnoituskokeet onnistuivat halutulla tehoaineella.
- Pinnoituksessa onnistuttiin lisäksi säätämään tehoaineen koostumusta Fe-pitoisuuden kasvattamiseksi
- Polymeeripallot mahdollistavat merkittävän keventämisen pienilläkin täyttöasteilla sovitekerroksen tapauksessa
- 2-kerrosrakenteen simulaatioiden perusteella on lähes koko X ja Ku taajuuskaistalla saavutettu -10dB vaimennustaso
- Neliöpaino keventynyt noin 50%
- Jatkossa (2018)
 - Suuremman Fe-pitoisuuden tehoainepinnoitteen vaikutus sähkömagneettisiin ominaisuuksiin ja vaimennuskykyyn todennetaan
 - Lämpökäsittelyn vaikutus tehoainepinnoitteen kiderakenteeseen: oletus että kasvattaa magneettisia häviöitä
 - 2-kerrosrakenteen valmistus ja vaimennuskyvyn todentaminen mittauksin



TEKNOLOGIASTA TULOSTA

