به نام خدا

تحقیق، بررسي و مطالعه کوانتومي مواد جاذب رادار

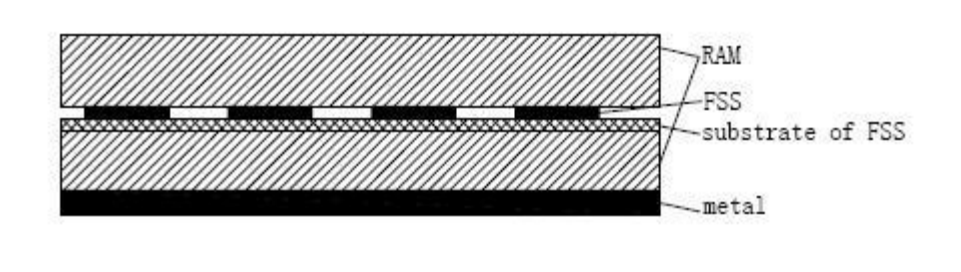
استاد : دکتر شهرام محمدنژاد

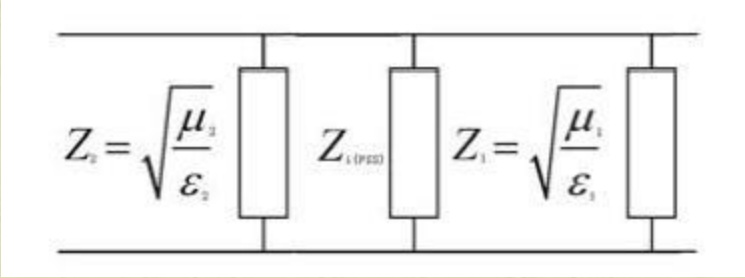
مقدمه

- مواد جاذب رادار موادي هستند كه براي پنهان كردن يك شي از امواج رادار، استفاده مي شود.
- اين مواد نمي توانند امواج را به طور كامل جذب كنند.
- ماده اي وجود ندارد كه بتواند تمام فركانس هاي رادار را جذب كند.
- ميزان جذب امواج رادار در يك فركانس مشخص به ساختار ماده جاذب بستگي دارد.
- تحقيق روي مواد جاذب رادار از ۶۰ سال قبل شروع شده است.
- مواد جاذب رادار بايد ضخامتي كم، وزني كم و جذب با پهناي باند وسيع داشته باشند.

روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار

- در اينجا عملكرد مواد جاذب رادار را در بازه فركانسي 2GHz تا 12GHz بررسي مي كنيم.
- FSS براي ساخت مواد جاذب رادار نازك با پهناي باند وسيع طراحي شده است.





روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)

- ضريب انعكاس ماده جاذب رادار از رابطه زير بدست مي آيد :

$$\Gamma = \frac{Z_{in(i)} - Z_o}{Z_{in(i)} + Z_o}$$

$$Z_{in(i)} = Z_i \frac{Z_{in(i-1)} + jZ_i \tan(k_i d_i)}{Z_i + jZ_{in(i-1)} \tan(k_i d_i)}$$

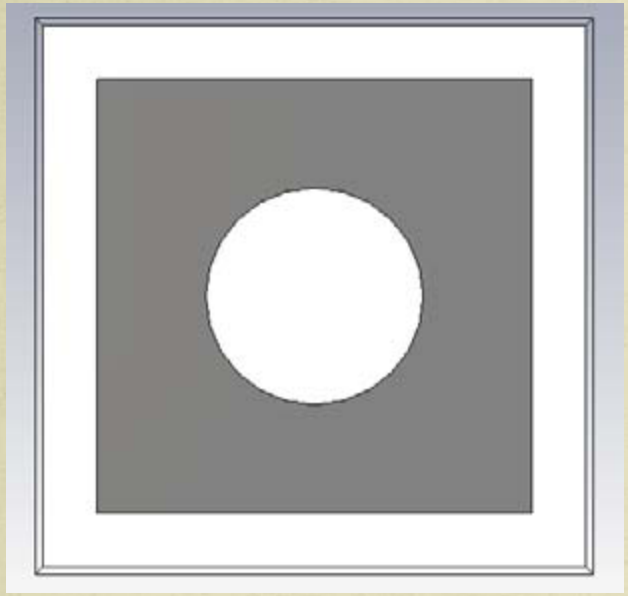
$$Z_i = \sqrt{\frac{\mu_i}{\varepsilon_i}} \qquad \varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \qquad \mu = \mu' - j\mu''$$

$$Z_{i(FSS)} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\left[\frac{Q_0}{Q} - 1 + jQ_0\left(\frac{fRe\sqrt{\mu\varepsilon}}{f_0} - \frac{f_0}{fRe\sqrt{\mu\varepsilon}}\right)\right]$$

$$Q = \frac{Q_0 Q_L}{Q_0 + Q_L} \qquad Q_L = \frac{\varepsilon'\mu'}{\varepsilon'\mu'' + \varepsilon''\mu'}$$

روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)

- شكل هندسي FSS مورد بررسي در زير نشان داده شده است و مشخصات به صورت زير است :



۱ـ شعاع دايره 4mm

۲ـ طول عنصر فلزي مربعي 16mm

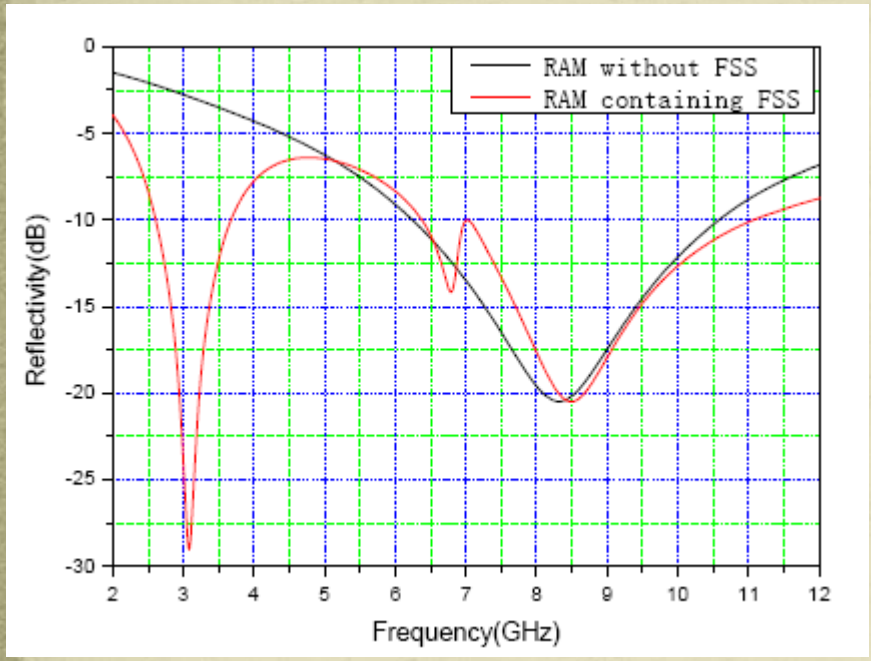
۳ـ طول 20mm array period

۴ـ ضخامت زير لايه 0.1mm

۵ـ ضريب نفوذ پذيري الكتريكي 1.05

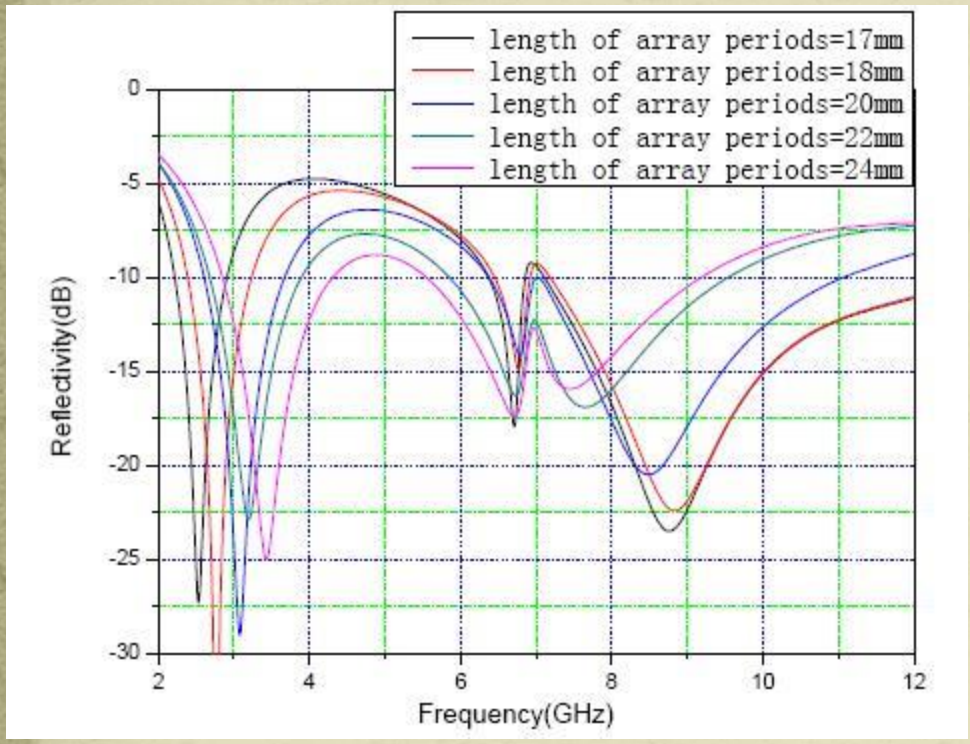
۶ـ ضخامت كل ماده جاذب رادار 3mm

روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)



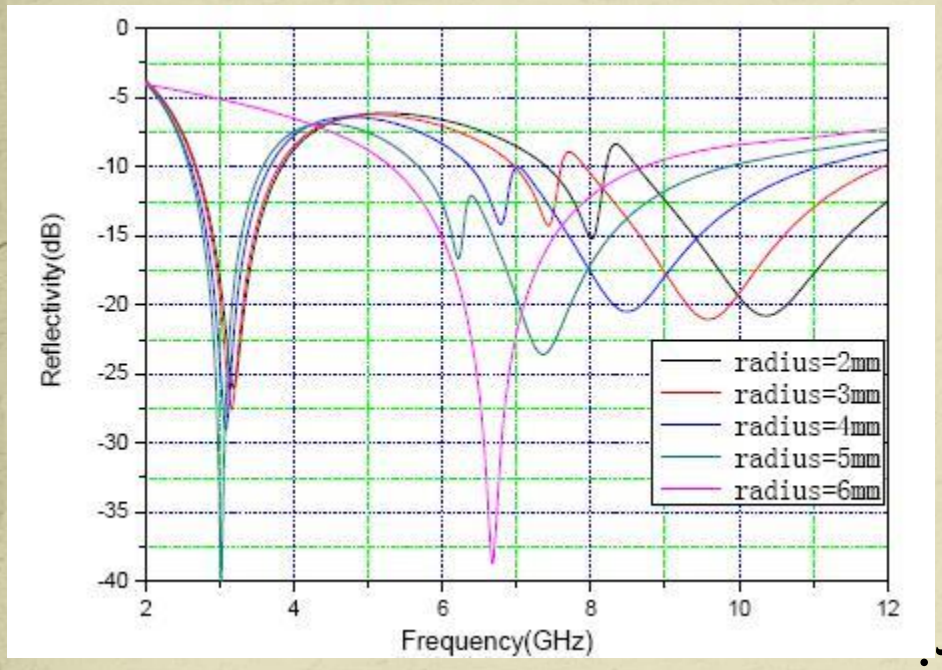
- با توجه به شكل در فركانس هاي بالاتر از 6GHz عملكرد ماده جاذب بدون FSS بهتر است. اما در بازه فركانسي 2GHz تا 4GHz انعكاس بالاتر از -5dB است و اين مناسب نيست.
- براي ماده جاذب شامل FSS در نمودار سه ستيغ كه معادل فركانس هاي تشديد مي باشند مشاهد مي شود.
- پس در كل عملكرد ماده جاذب شامل FSS از ماده جاذب بدون FSS بهتر است.

روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)



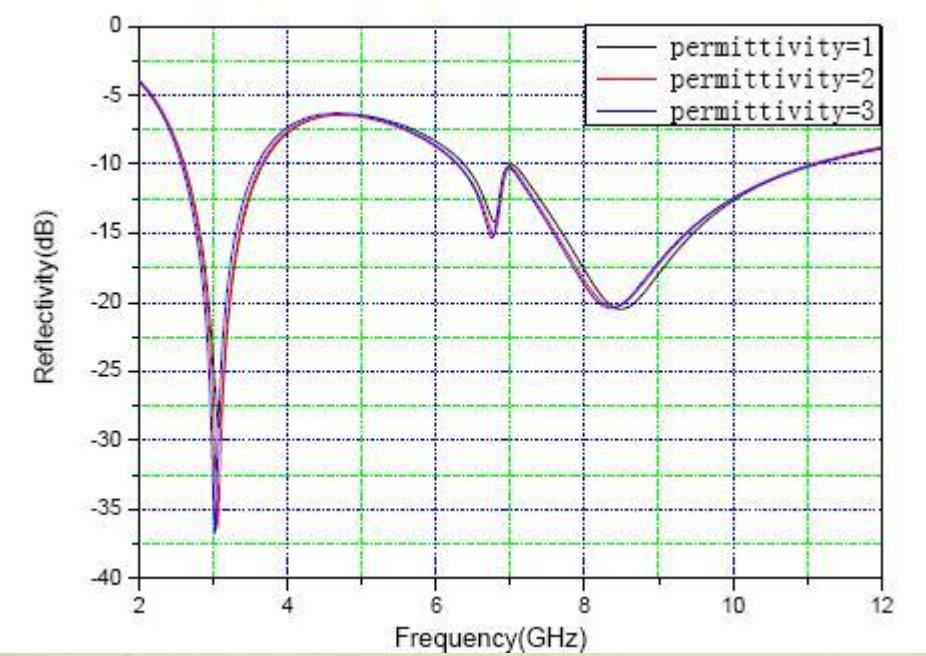
- با افزايش array period در فركانس هاي بالا، فركانس تشديد از 7GHz تا 9GHz و در فركانس هاي پايين از 3GHz تا 3.5GHz تغيير مي كند.
- اگر array period افزايش يابد انعكاس براي بازه فركانسي 3GHz تا 8GHz كاهش مي يابد.
- پس اگر array period به درستي تنظيم شود، عملكرد خوبي در بازه فركانسي 2GHz تا 12GHz خواهيم داشت.

روش FSS براي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)



- وقتي شعاع بين 2mm تا 5mm تغيير مي كند، سه ستيغ در نمودار انعكاس ظاهر مي شود.
- وقتي شعاع افزايش مي يابد، فركانس تشديد كاهش مي يابد.
- وقتي شعاع 6mm است، يك ستيغ در نمودار انعكاس مشاهده مي شود.
- پس وقتي فركانس بيشتر از 6GHz است اثر شعاع FSS در انعكاس آشكار مي شود.

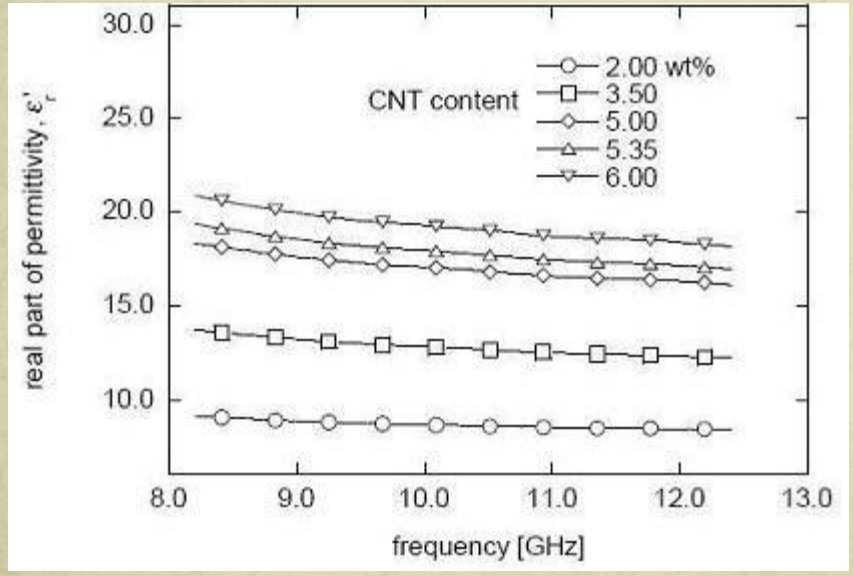
روش FSSبراي بهبود پهناي باند عملكرد مواد جاذب رادار (ادامه)

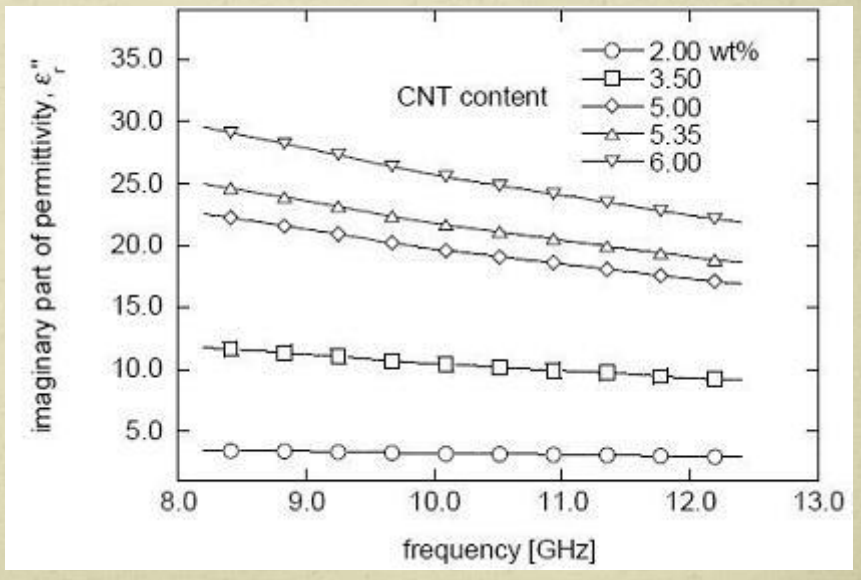


- با توجه به شكل تأثيرضريب نفوذپذيري الكتريكي زير لايه FSS روي انعكاس ماده جاذب رادار بسيار كم است.

اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار

- ساختارهاي جاذب راداري با نانو لوله هاي كربني ساخته شده اند كه در فركانس 10GHz، پيك فركانسي برابر 45dB- دارند.
- در اينجا پنج صفحه نانو لوله كربني با مشخصات مشخص و درصد وزني مختلف (wt%) انتخاب كرده و تحليل هاي مورد نظر را روي آن ها انجام مي دهيم.





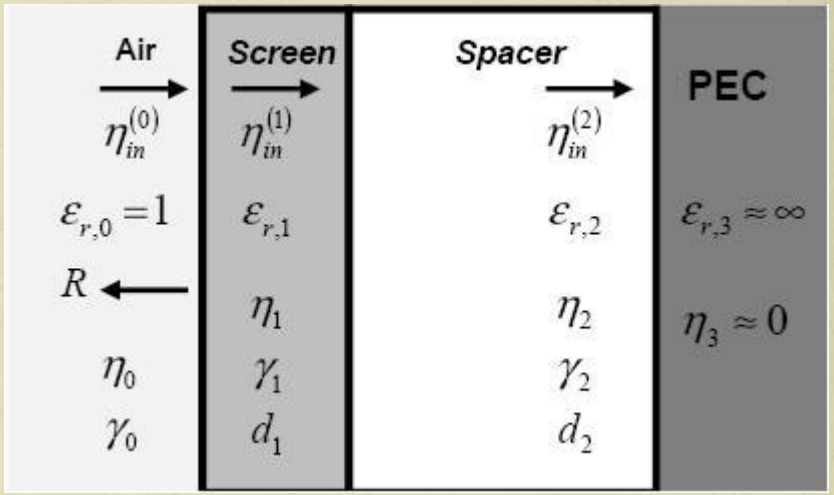
اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار (ادامه)

- در زير شماتيكي از جاذب پيشنهاد شده دو لايه را مشاهده مي كنيد.
- ضريب انعكاس مدل از رابطه زير بدست مي آيد :

$$R = \frac{\eta_{in}(0) - \eta_0}{\eta_{in}(0) + \eta_0}$$

$$\eta_{in}(i-1) = \eta_i \frac{\eta_{in}(i) + \eta_i \tanh(\gamma_i d_i)}{\eta_i + \eta_{in}(i)\tanh(\gamma_i d_i)}$$

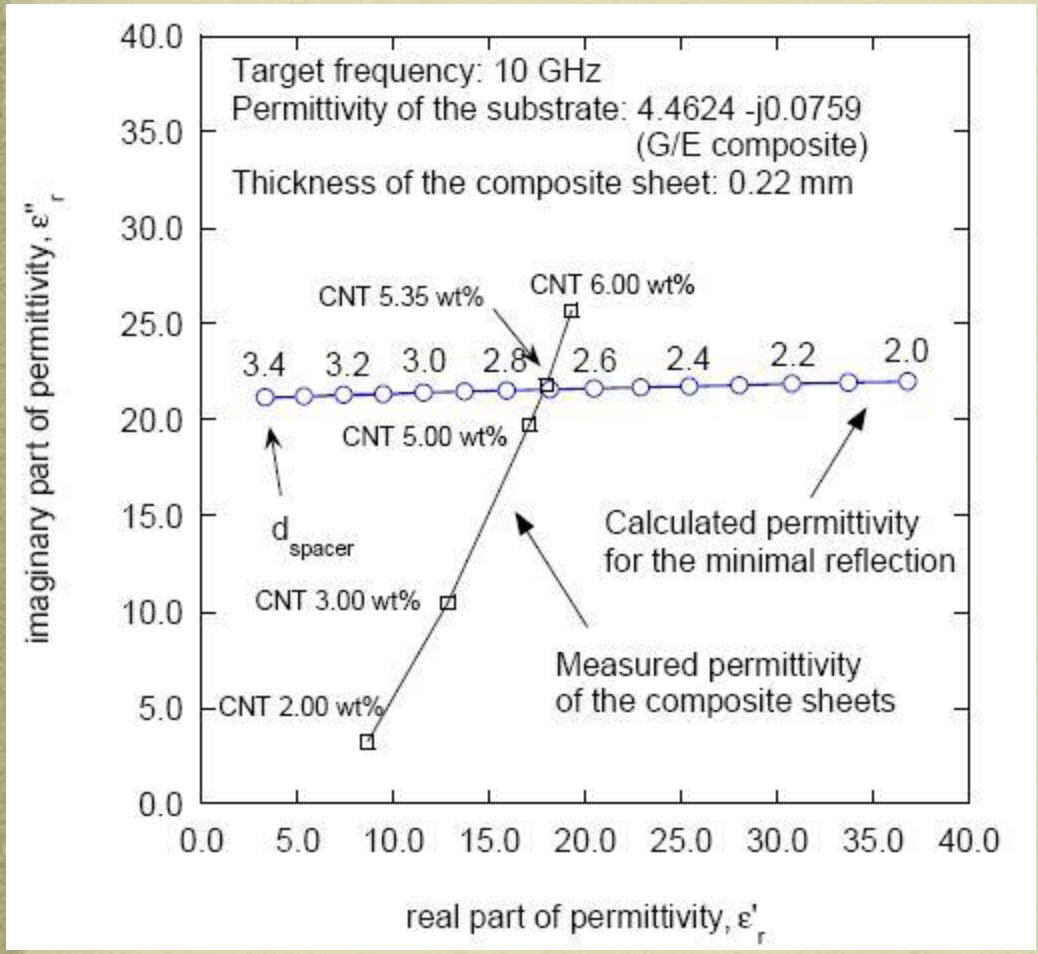
$$\eta_{N+1} = 0$$



$$\mu_{rj} = 1 \quad \Rightarrow \quad \eta_i = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{rj}}}$$

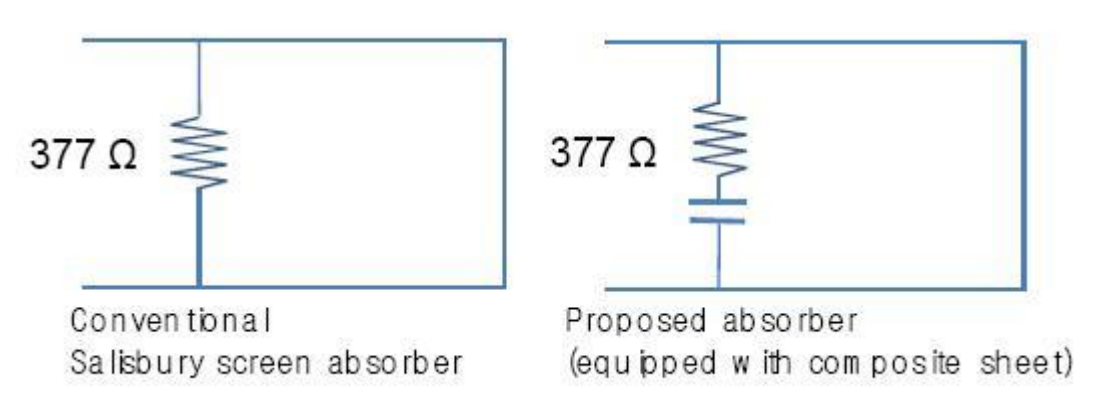
$$\gamma_i = j2\pi f\sqrt{\varepsilon_{rj}}/c$$

اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار (ادامه)



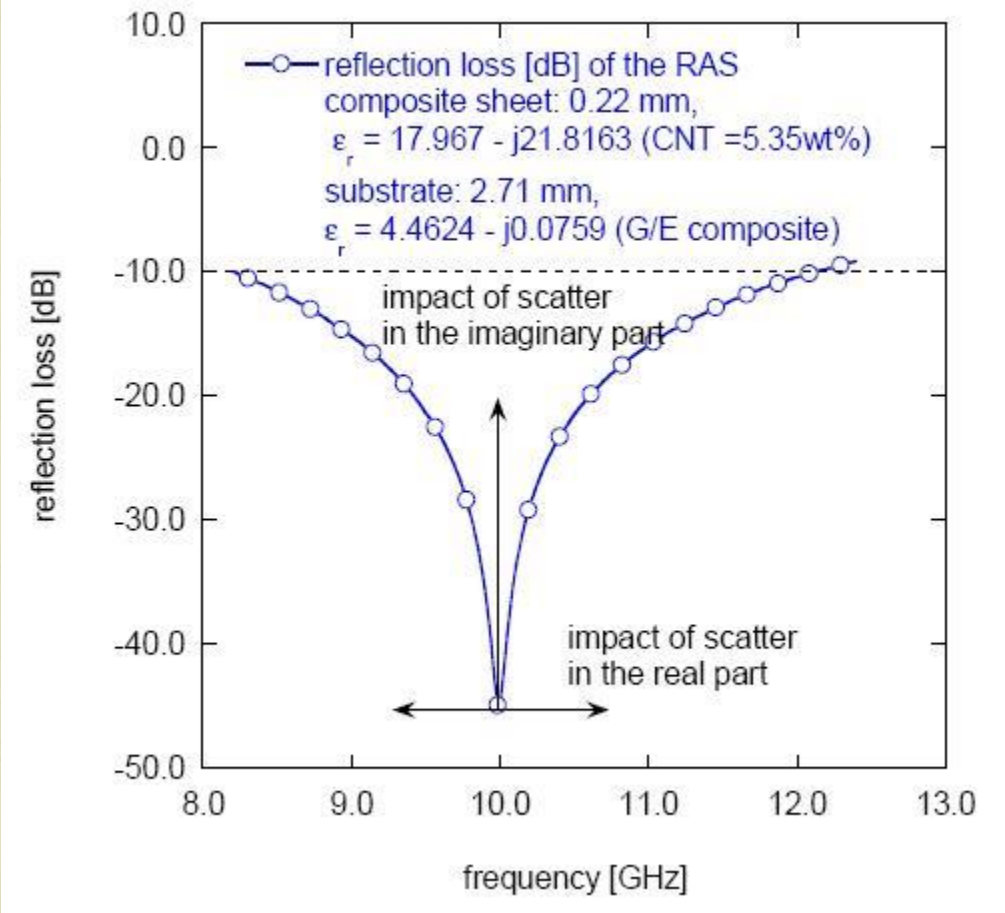
- ضخامت صفحه 0.22mm
- فركانس 10GHz
- بهترين درصد وزني نانو لوله كربني و بهترين ضخامت زير لايه تقريباً برابر 5.35 wt% و 2.71mm بوده و ضريب نفوذ پذيري الكتريكي موهومي متناظر صفحه 21.81 بوده و در نتيجه مقاومت سطح صفحه 374 Ω/in² مي باشد.

اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار (ادامه)

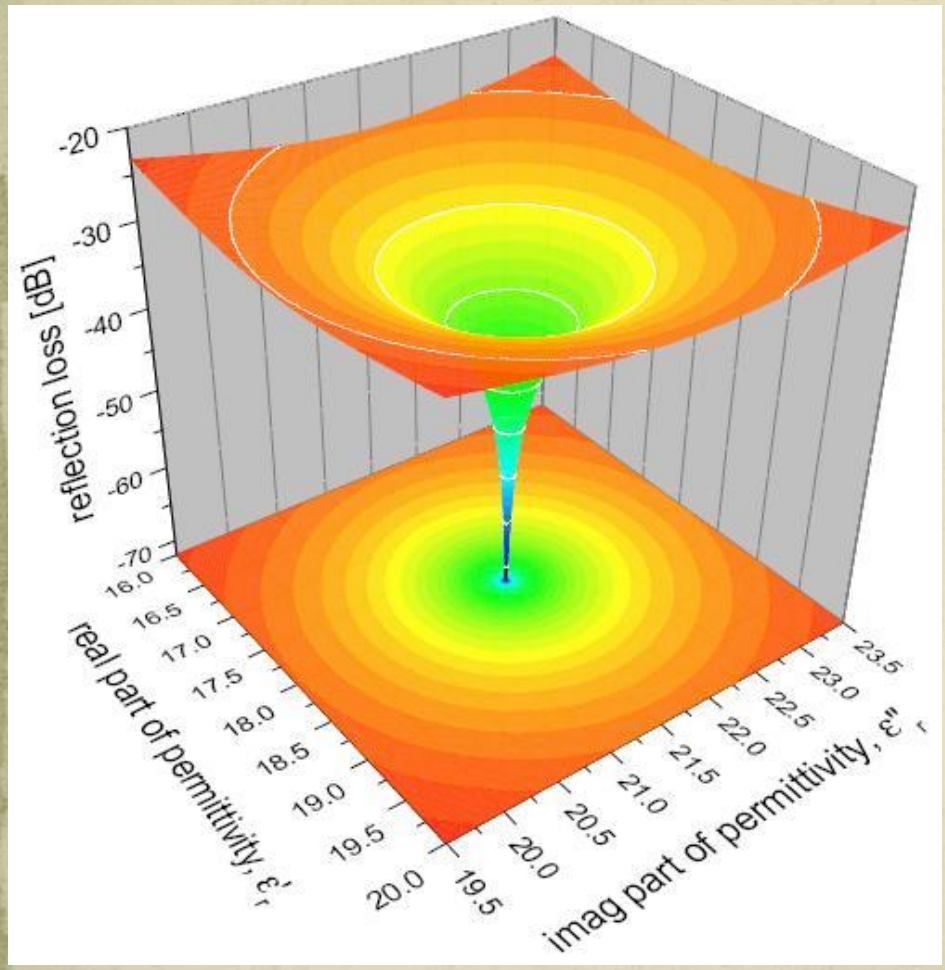


- با توجه به شكل تفاوت بين جاذب پيشنهاد شده و لايه screen در حضور قسمت حقيقي ضريب نفوذ پذيري الكتريكي (خازن) در صفخه است.

اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار (ادامه)



اثر كامپوزيت هاي نانو لوله هاي كربني روي ساختارهاي جاذب رادار (ادامه)



- ضخامت صفحه 0.22mm
- ضخامت زير لايه 2.71mm
- درصد وزني صفحه 5.35 wt%
- با توجه به شكل بهترين ضريب نفوذ پذيري الكتريكي صفحه برابر 17.94-j21.58 مي باشد.

رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز

- در اين قسمت رفتار جذب نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز را در بازه فركانسي 8.2GHz تا 12.4GHz بررسي مي كنيم.
- در اينجا اثر TiO_2 تركيب شده با فلز را در كاهش ضخامت ماده جاذب و كاهش ضريب انعكاس بررسي مي كنيم.
- ضريب انعكاس با رابطه زير بدست مي آيد :

$$R_L = -20\log\left|\frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o}\right|$$

$$Z_{in} = Z_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}tanh\left\{j\left(\frac{2\pi f d}{c}\right)\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}\right\}$$

رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز (ادامه)

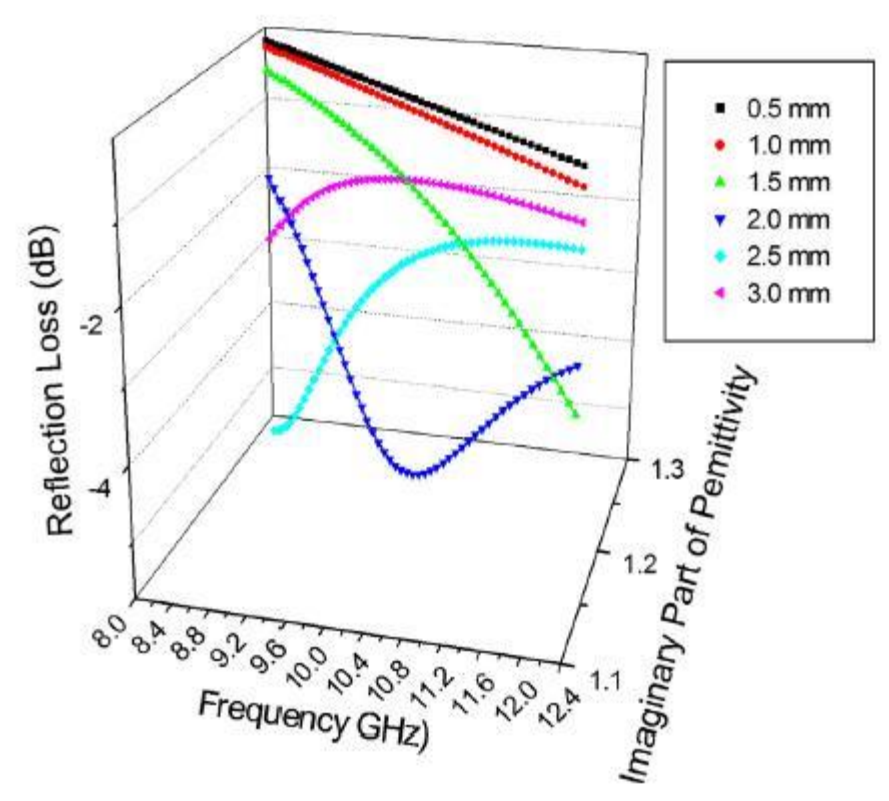
- بخش موهومي ضريب نفوذ پذيري الكتريكي از رابطه زير بدست مي آيد :

$$\varepsilon'' = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\rho f}$$

- ρ مقاومت ويژه الكتريكي
- ε_0 ضريب نفوذ پذيري الكتريكي فضاي آزاد

- وقتي كامپوزيت با فلز تركيب مي شود، مقاومت ويژه آن تغيير كرده و بخش موهومي ضريب نفوذ پذيري الكتريكي تغيير مي كند.

رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز (ادامه)



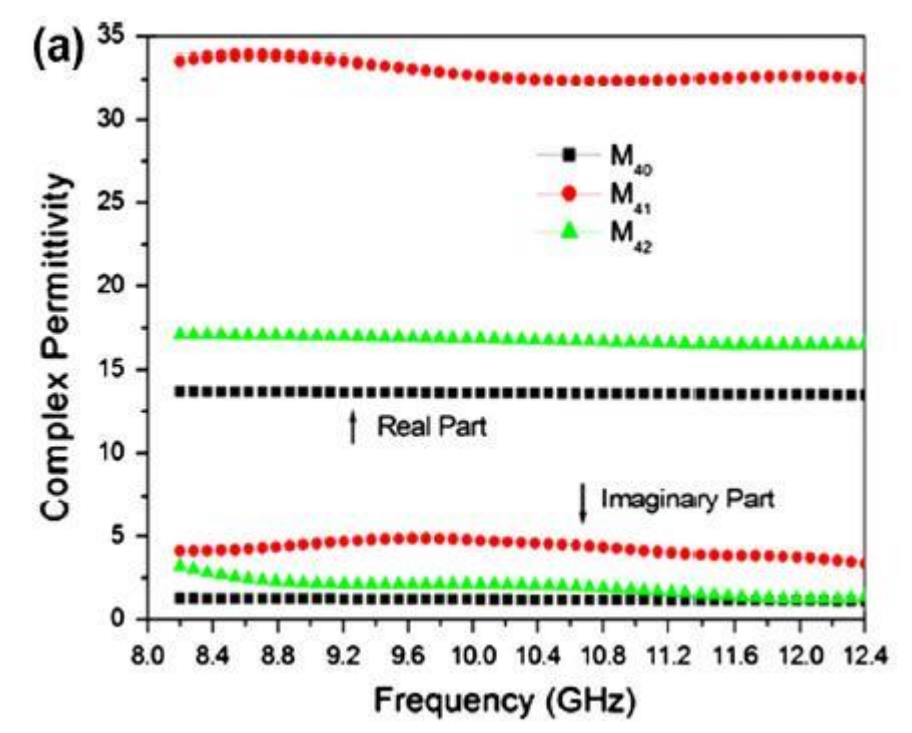
- با توجه به شكل ضخامت ماده جاذب نقش مهمي در ميزان انعكاس بازي مي كند.

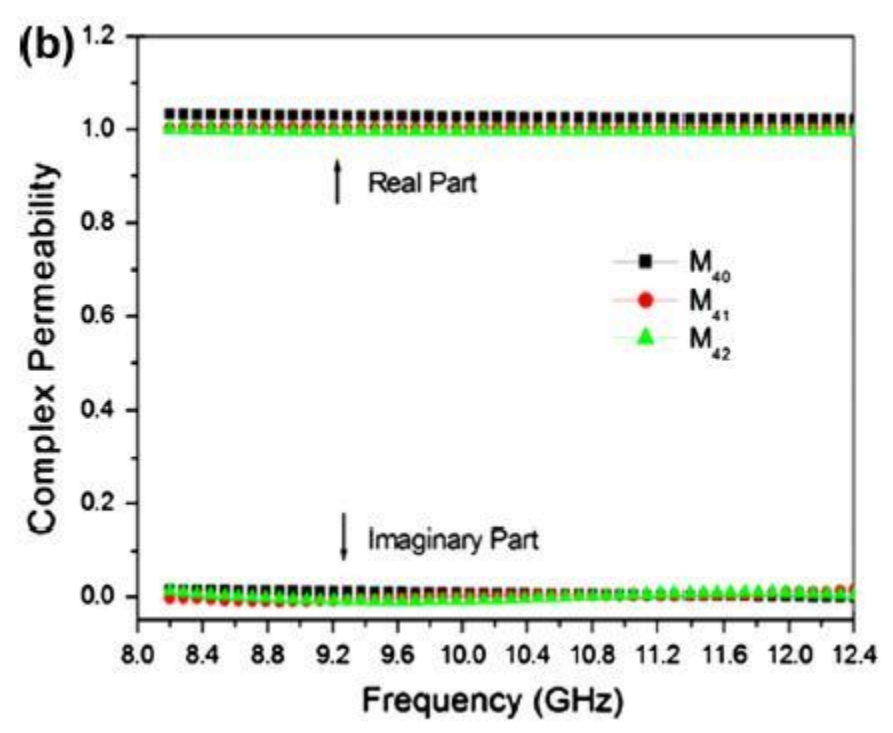
رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز (ادامه)

- در اينجا براي بررسي سه نمونه را در نظر مي گيريم كه مشخصات آن ها در جدول زير آمده است.

نمونه	تركيب	درصد تركيبات		
		TiO_2	Al	Ni
M40	TiO_2	100	0	0
M41	TiO_2 +Al	89	11	0
M42	TiO_2 + Ni	92	0	8

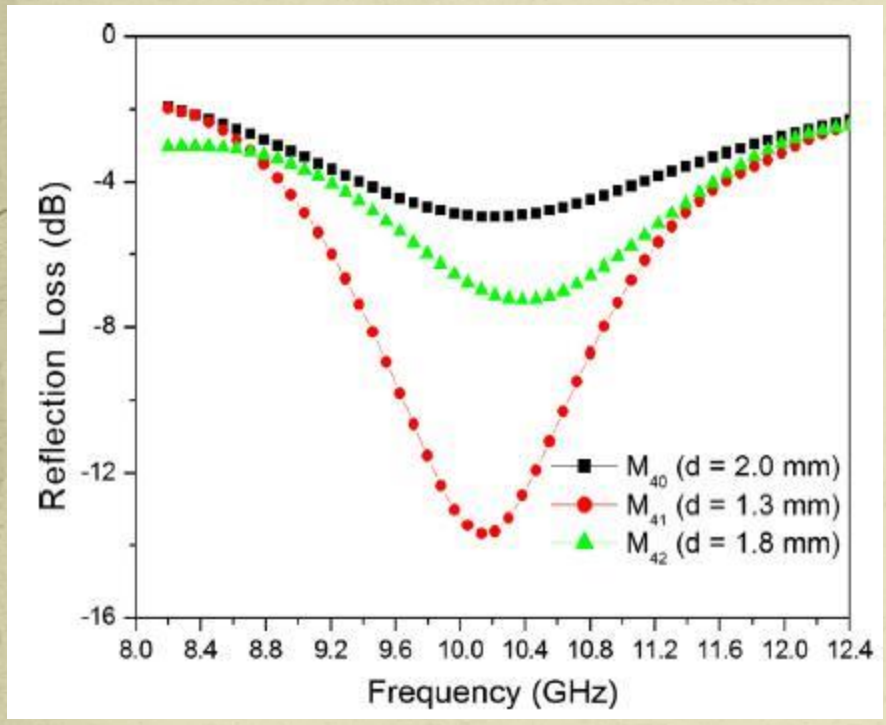
رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز (ادامه)



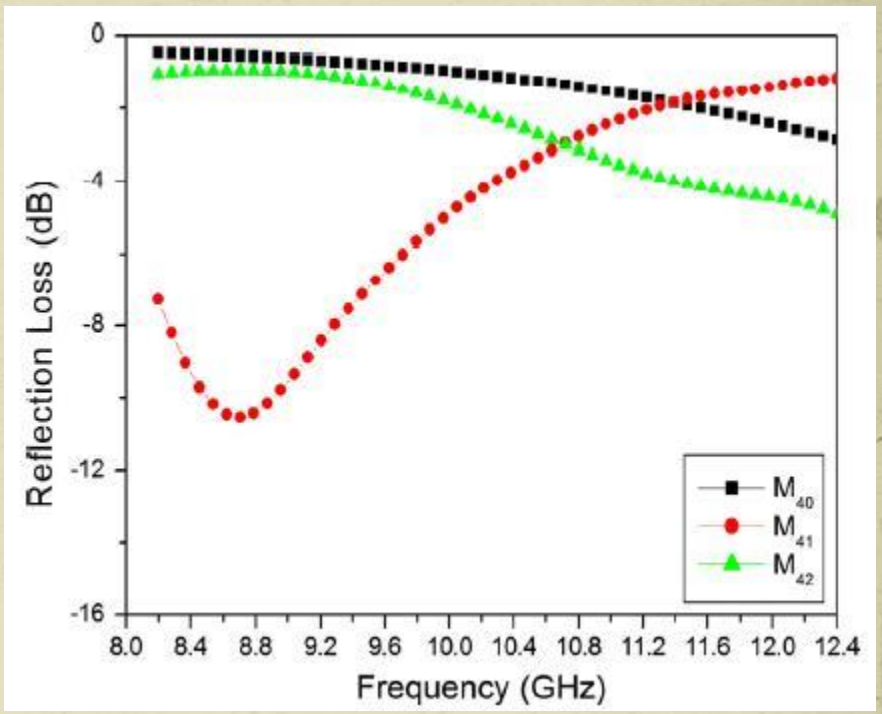


- قسمت حقيقي ضريب نفوذ پذيري الكتريكي نمونه M41 بيشتر است، زيرا مقاومت ويژه Al از Ni كمتر است.

رفتار جذب براي نانو كامپوزيت هاي TiO_2 تركيب شده با فلز (ادامه)



به ازاي ضخامت بهينه



به ازاي d=1.5mm

نتيجه گيري

- مواد جاذب رادار بايد ضخامتي كم، وزني كم و جذب با پهناي باند وسيع داشته باشند.
- این مواد باید در مقابل خرابی و آسیب های شیمیایی مقاوم باشند.
- وقتی از روش FSS استفاده می کنیم، ضخامت ماده جاذب رادار را می توان کاهش داد.
- وقتی از نانو لوله های کربنی برای ساختارهای جاذب رادار استفاده می شود، میزان انعکاس بسیار کاهش می یابد.
- اگر نانو کامپوزیت های TiO_2 با فلز ترکیب شوند، ضخامت ماده جاذب کاهش یافته و میزان انعکاس کاهش می یابد.

با تشکر از توجه شما