

Аномальная величина скин-слоя на высоких частотах

Якубовский Е.Г.

e-mail yakubovski@rambler.ru

Имеется комплексная диэлектрическая проницаемость проводника. Вычислим величину волнового числа с этой диэлектрической проницаемостью. Получается коэффициент затухания, вызванную мнимой частью диэлектрической проницаемости. Получилась 3 разные асимптотические формулы для волнового числа на высоких и низких частотах, при этом две из них известные.

Диэлектрическая проницаемость проводника определяется по формуле см. [1]

$$\varepsilon = 1 + \frac{4\pi\sigma i}{\omega(1-i\omega\tau)}; \tau = \frac{m\sigma}{Ne^2}.$$

Вычислим волновое число по формуле в случае $\omega\tau = \frac{m\omega\sigma}{Ne^2} \ll 1$

$$k = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}{c} = \frac{\omega\sqrt{(1 + \frac{4\pi\sigma i}{\omega})\mu}}{c} = \frac{\sqrt{\omega^2\mu + 4i\pi\omega\sigma\mu}}{c} = \left[\sqrt{\frac{\omega^4\mu^2 + (4\pi\omega\sigma\mu)^2}{2}} + \omega^2\mu \right. \\ \left. + i\sqrt{\frac{\omega^4\mu^2 + (4\pi\omega\sigma\mu)^2 - \omega^2\mu}{2}} \right] / c \cong \begin{cases} \frac{\sqrt{2\pi\omega\sigma\mu + \omega^2\mu/2}}{c} + \frac{i}{c}\sqrt{2\pi\omega\sigma\mu - \frac{\omega^2\mu}{2}}, & 4\pi\sigma > \omega \\ \frac{\sqrt{\omega^2\mu + (4\pi\sigma)^2\mu/2 + 4i\pi\sigma\sqrt{\mu/2}}}{c}; & 4\pi\sigma < \omega \end{cases}$$

Откуда получаем формулу для толщины скин-слоя в случае низких частот

$\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\sigma\mu}}$, совпадающую с известным в литературе значением. На высоких

частотах толщина скин-слоя равна $\delta = \frac{c}{4\pi\sigma\sqrt{\mu/2}}$. Глубина проникновения

лазерного луча определяется только проводимостью среды и не зависит от частоты лазера.

В случае $\omega\tau = \frac{m\omega\sigma}{Ne^2} \gg 1$ имеем асимптотику для диэлектрической проницаемости

$$\varepsilon = 1 - \frac{4\pi\sigma}{\omega^2\tau} = 1 - \frac{4\pi Ne^2}{\omega^2 m} = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2; \omega_p^2 = \frac{4\pi Ne^2}{m}.$$

И мы избавляемся от затухания электромагнитной волны в металлах.

Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. 7 Физика сплошных сред.