



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

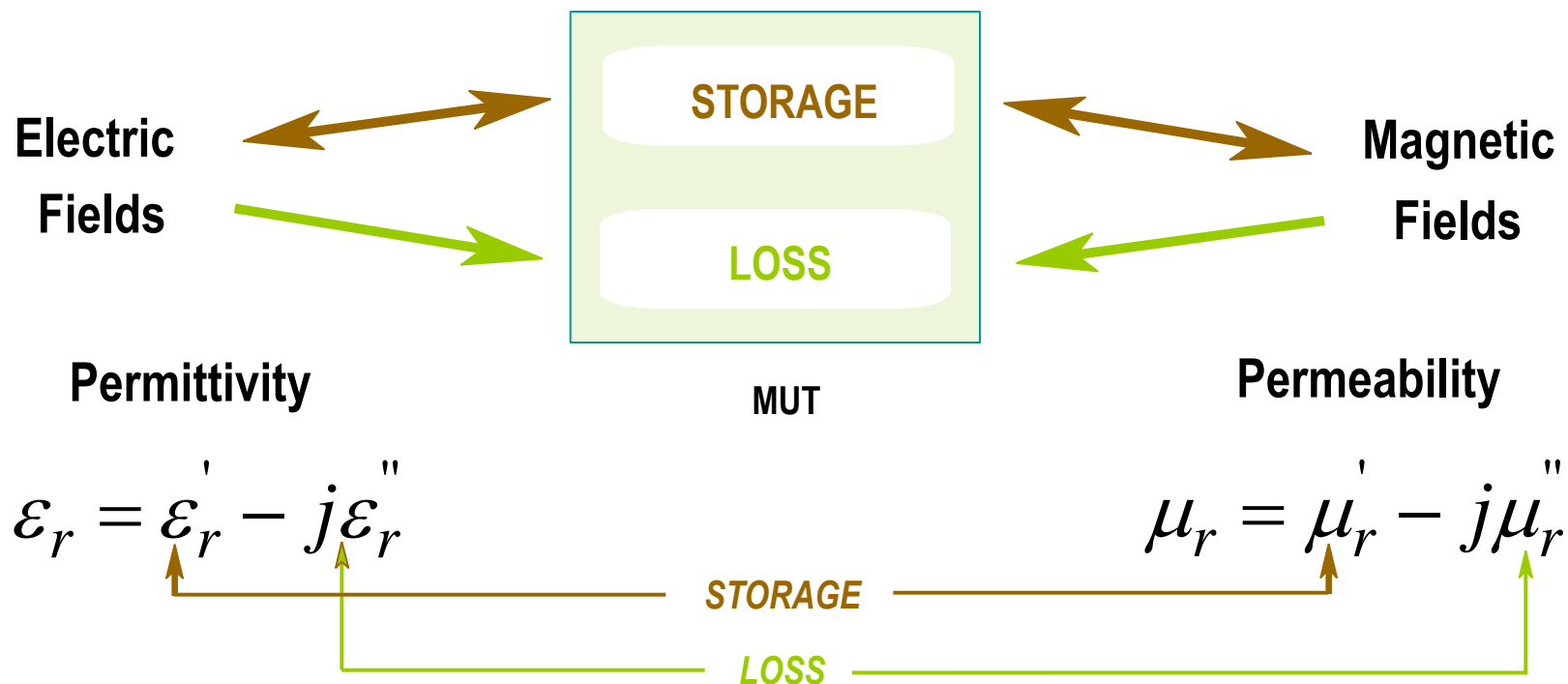
SIBIRIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

www.sfu-kras.ru

Измерения на СВЧ

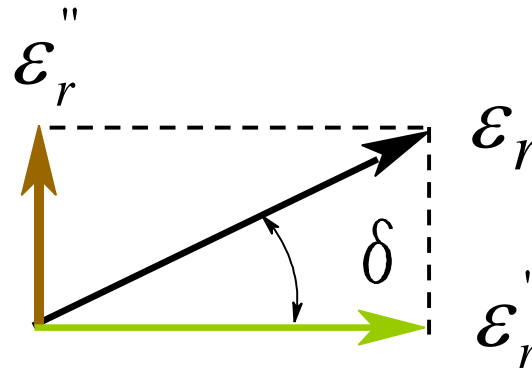
Лекция 5. Измерение параметров материалов

Электродинамическое описание материалов



Электродинамическое описание материалов

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$



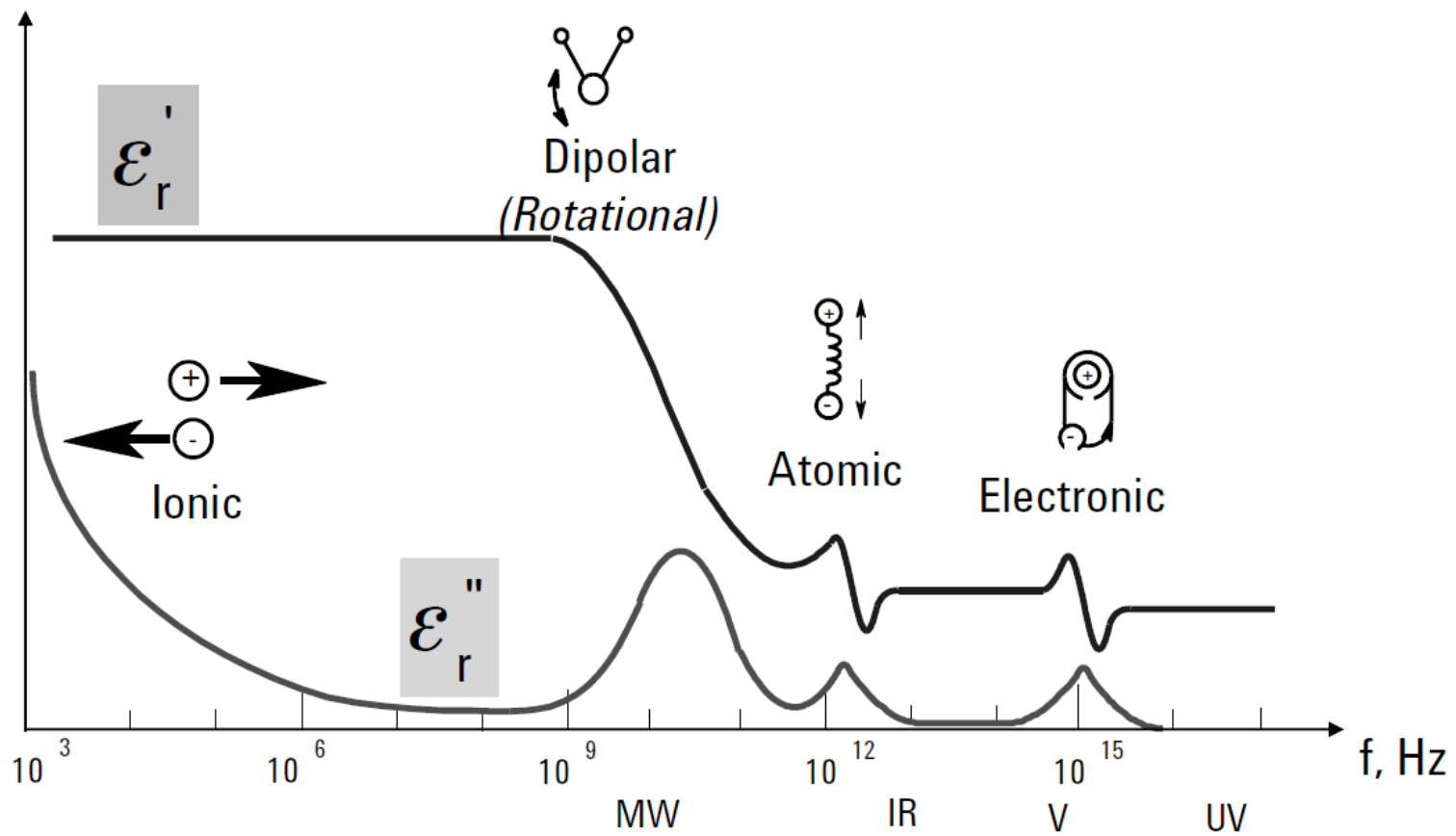
$$\tan \delta = D = \frac{1}{Q} = \frac{\text{Energy Lost per Cycle}}{\text{Energy Stored per Cycle}}$$

D Dissipation
Factor

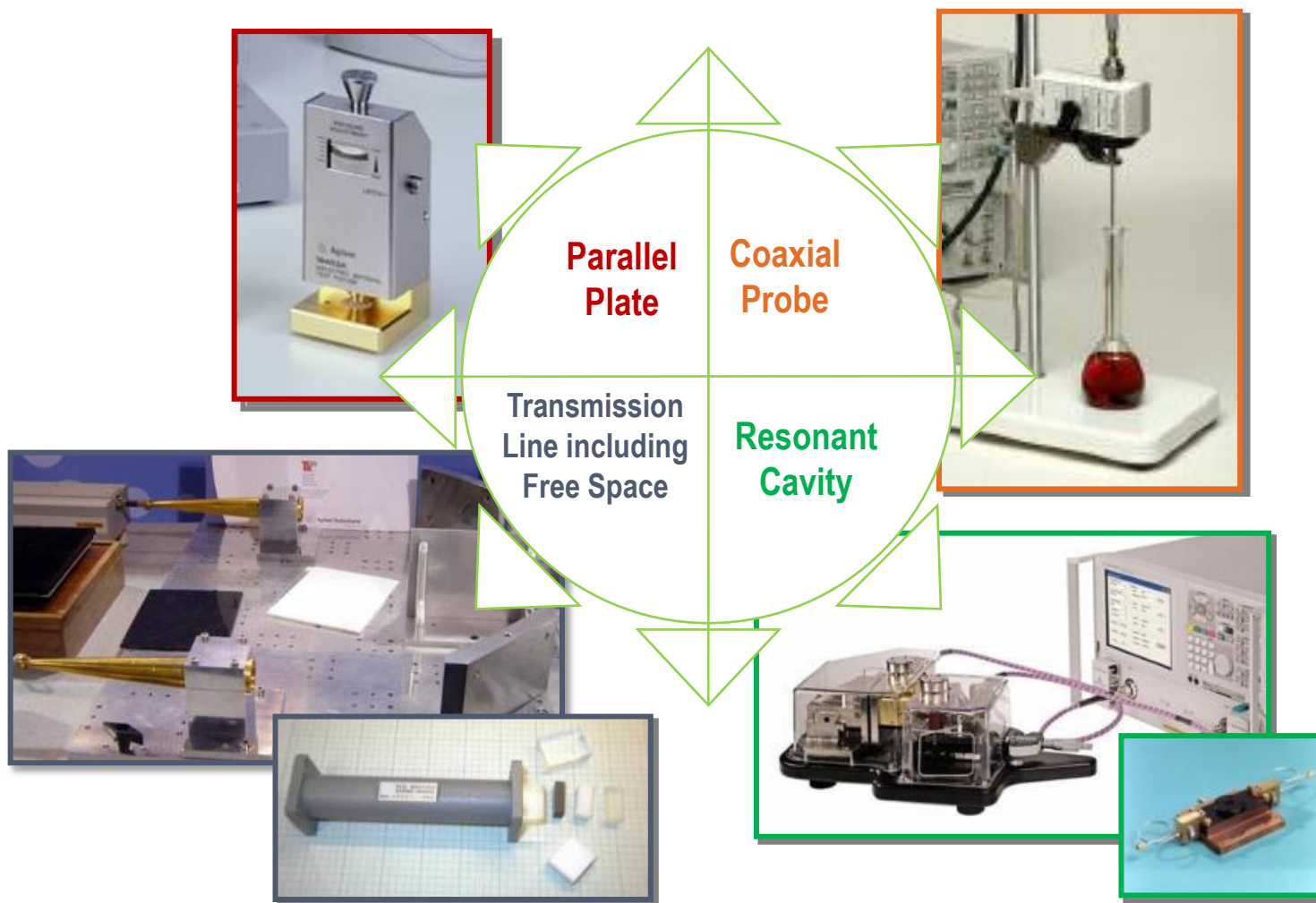
Q Quality
Factor

D_f

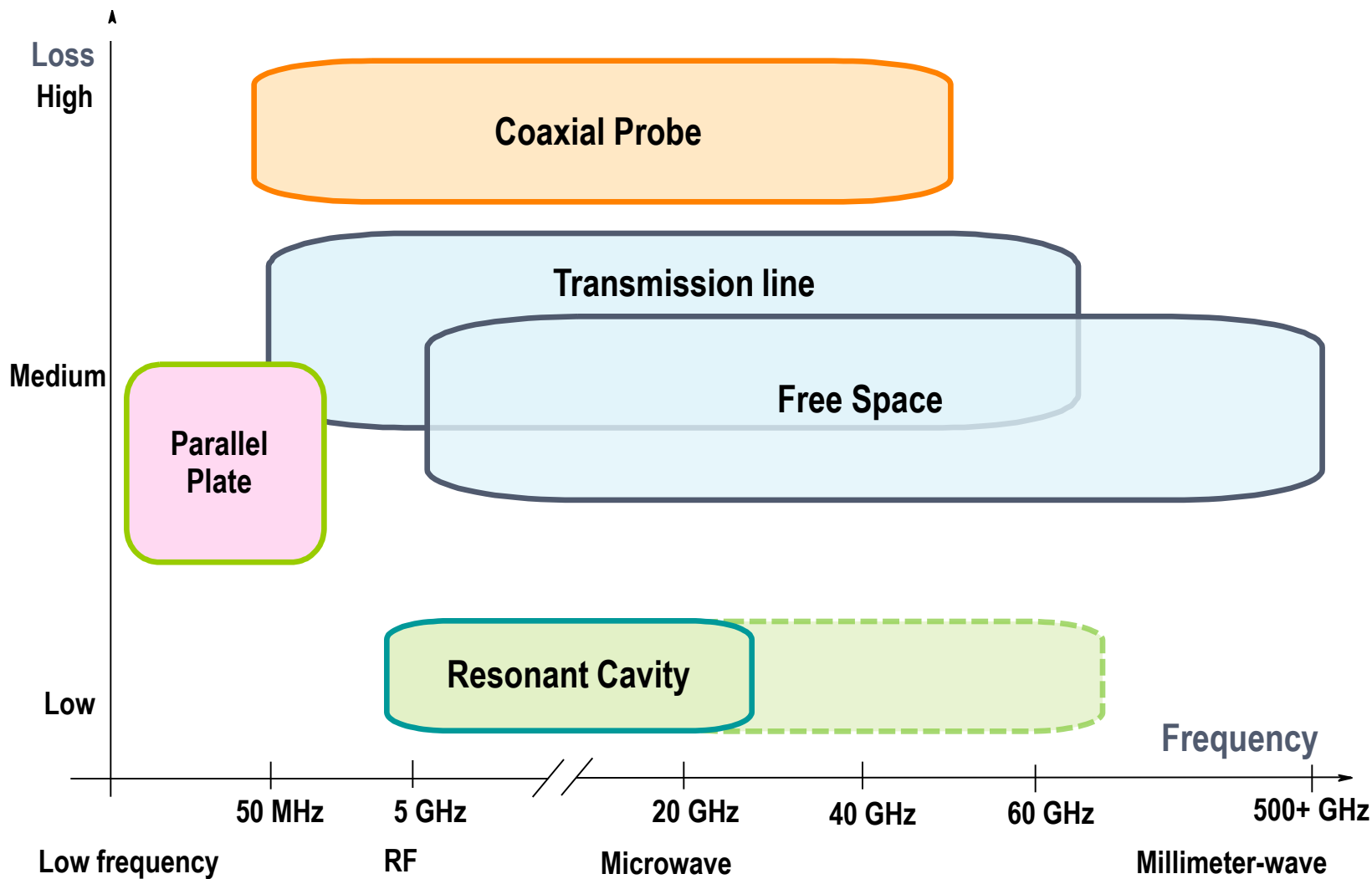
Частотная зависимость диэлектрической проницаемости



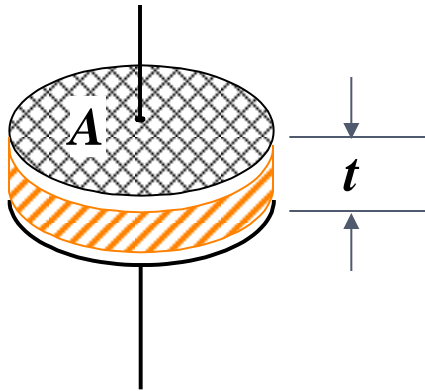
Методы измерения параметров материалов



Применимость разных методов

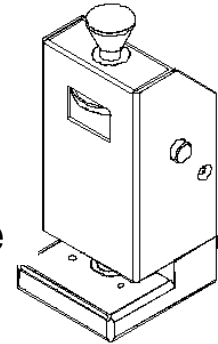


Метод параллельных пластин



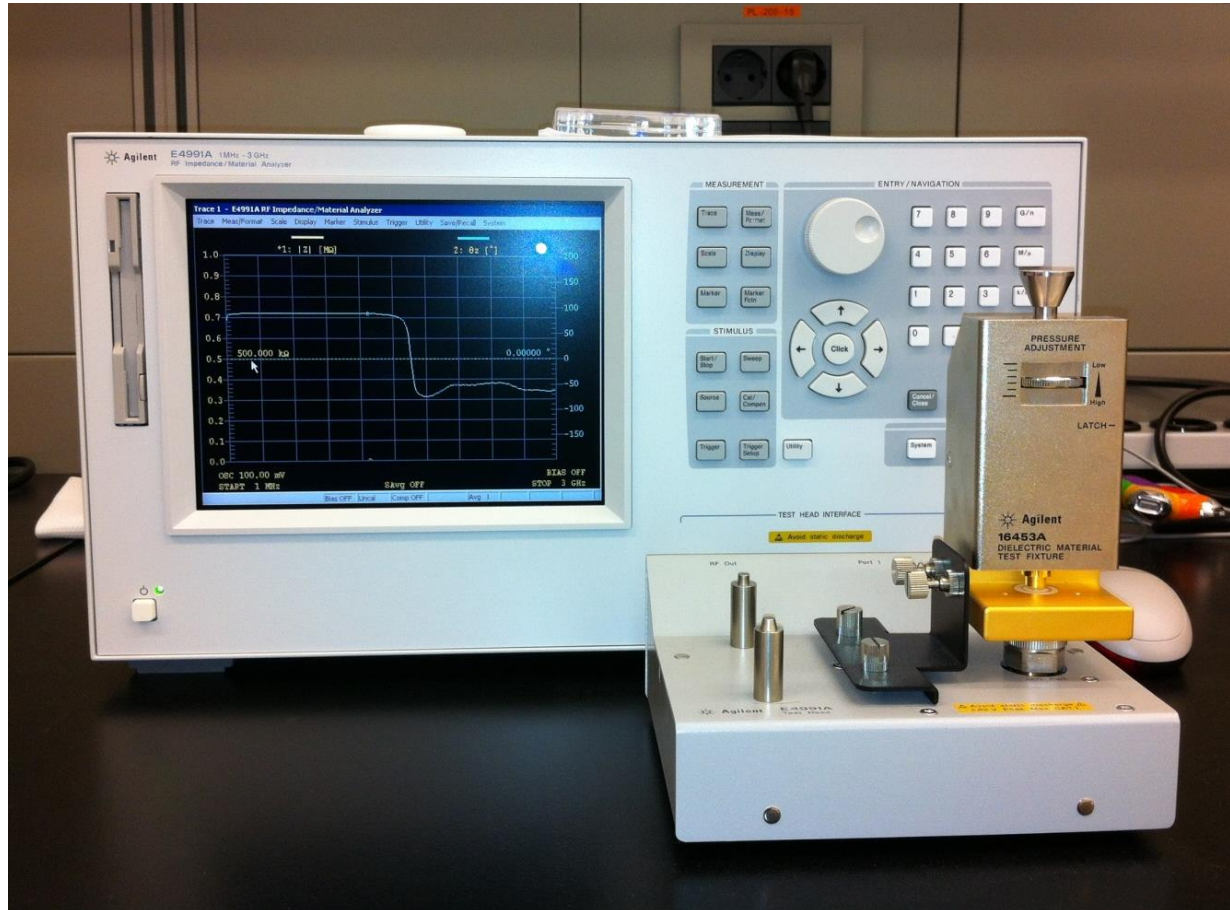
Dielectric Test
Fixture

(magnetic fixture
also available)

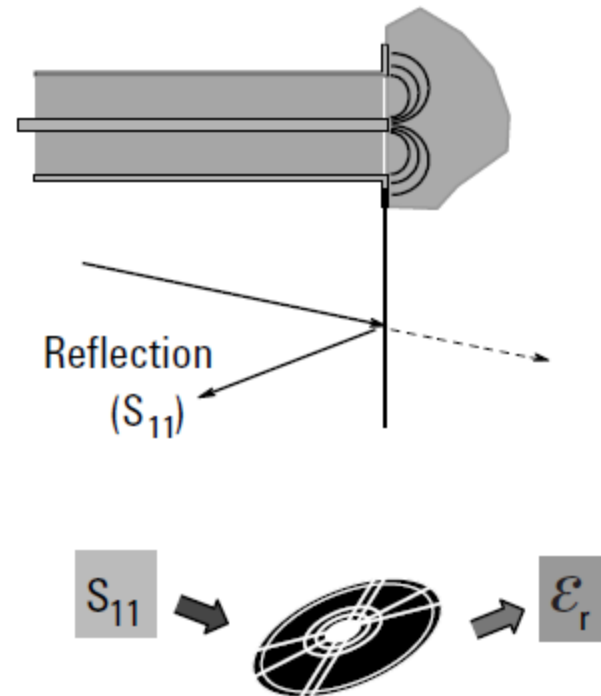
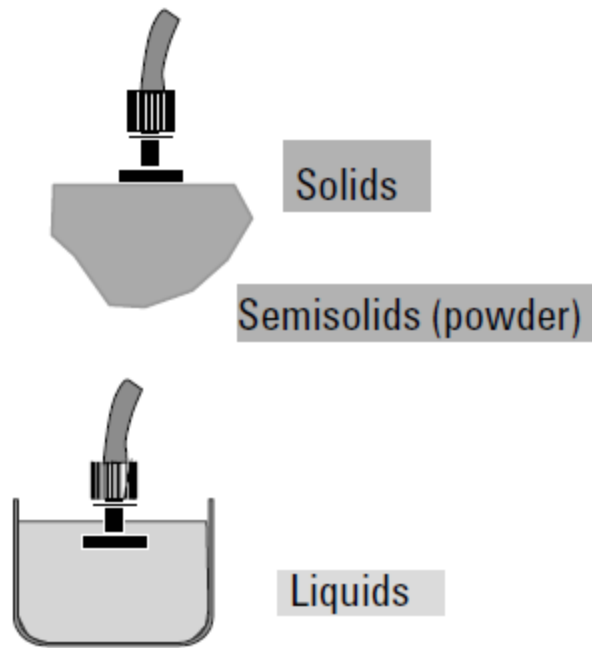


$$\epsilon_r = \frac{C}{\epsilon_0 \frac{A}{t}}$$

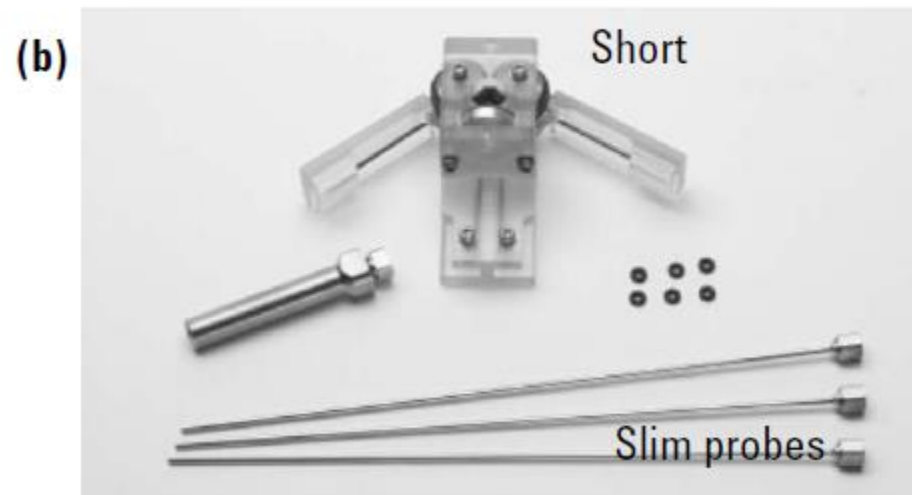
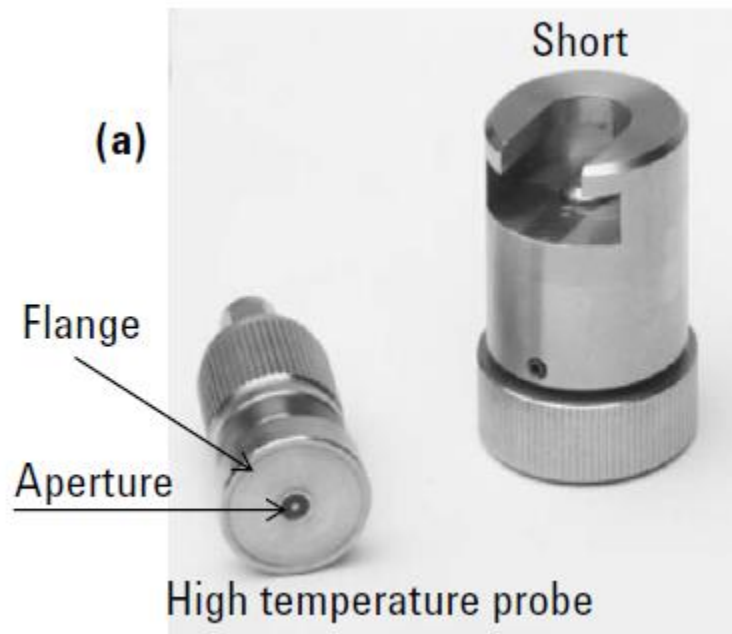
Метод параллельных пластин



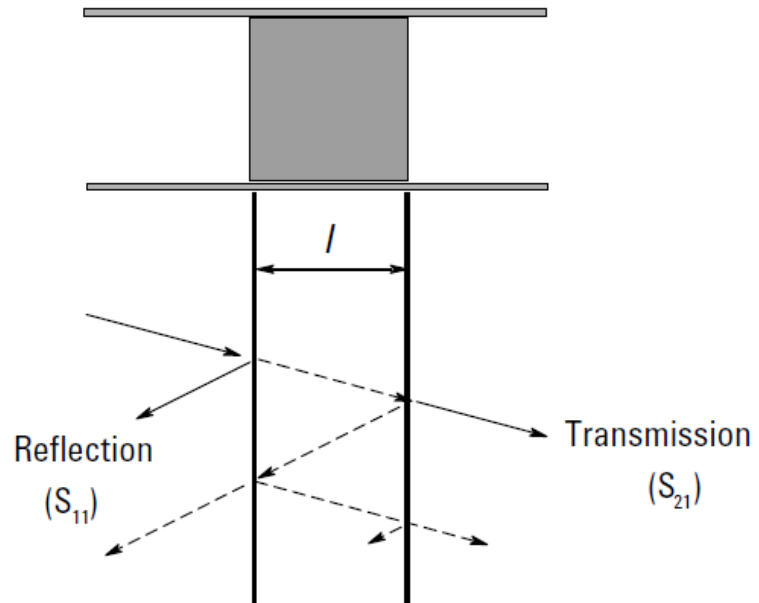
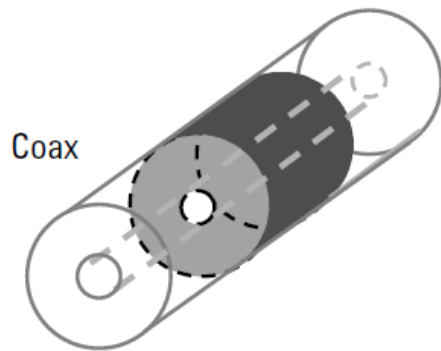
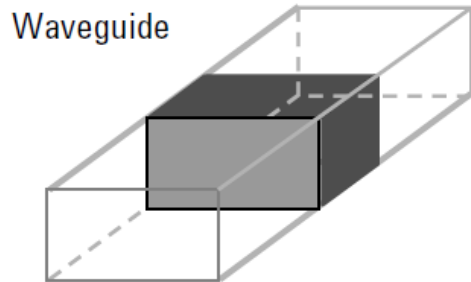
Метод коаксиального зонда



Метод коаксиального зонда



Метод линии передачи



Метод линии передачи

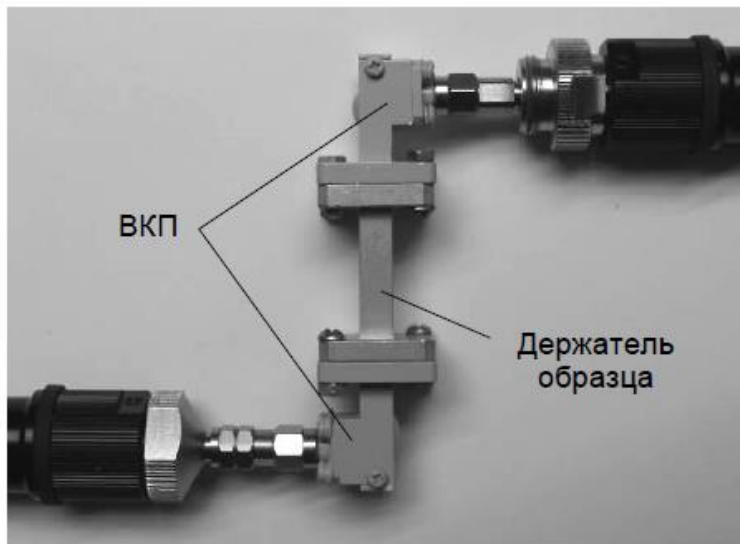


Рис. 1. Держатель образца с ВКП

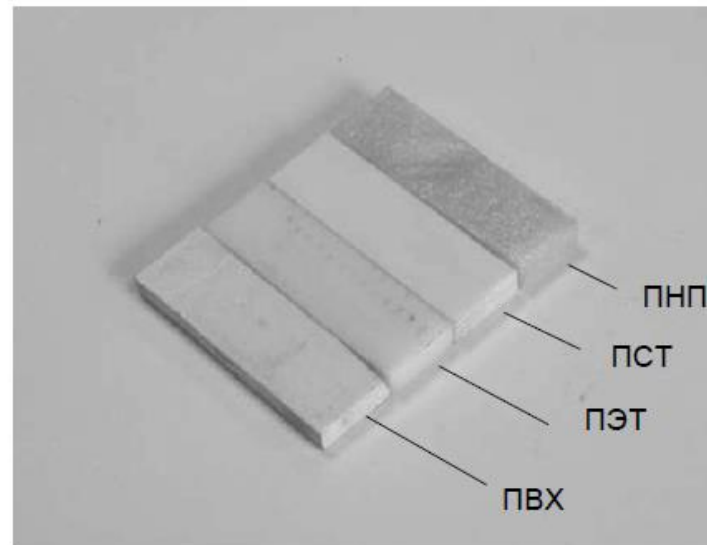


Рис. 2. Образцы материалов

Метод линии передачи

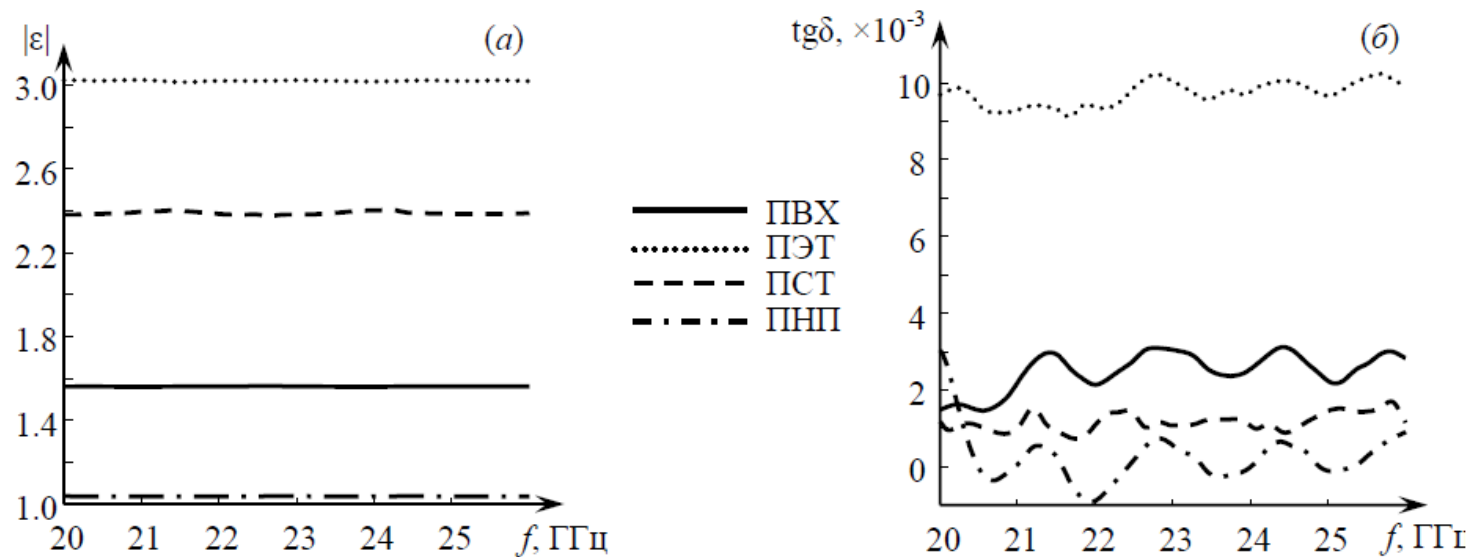
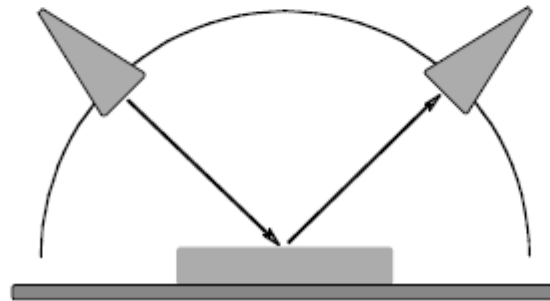
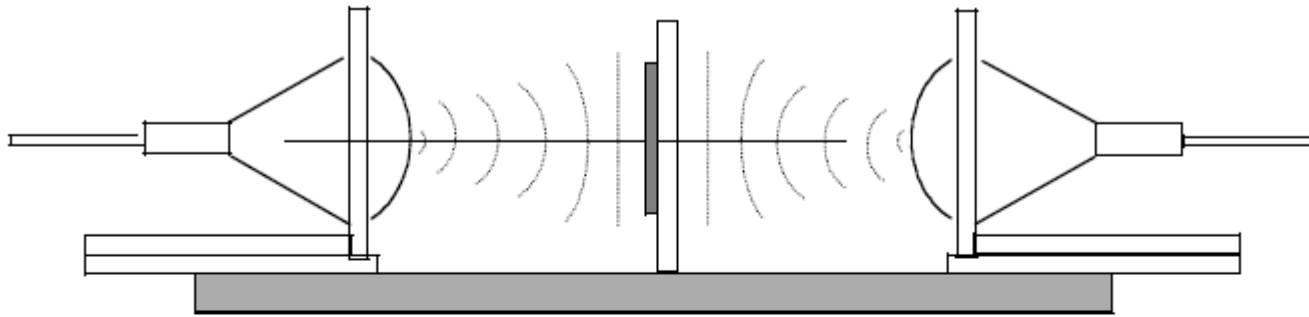
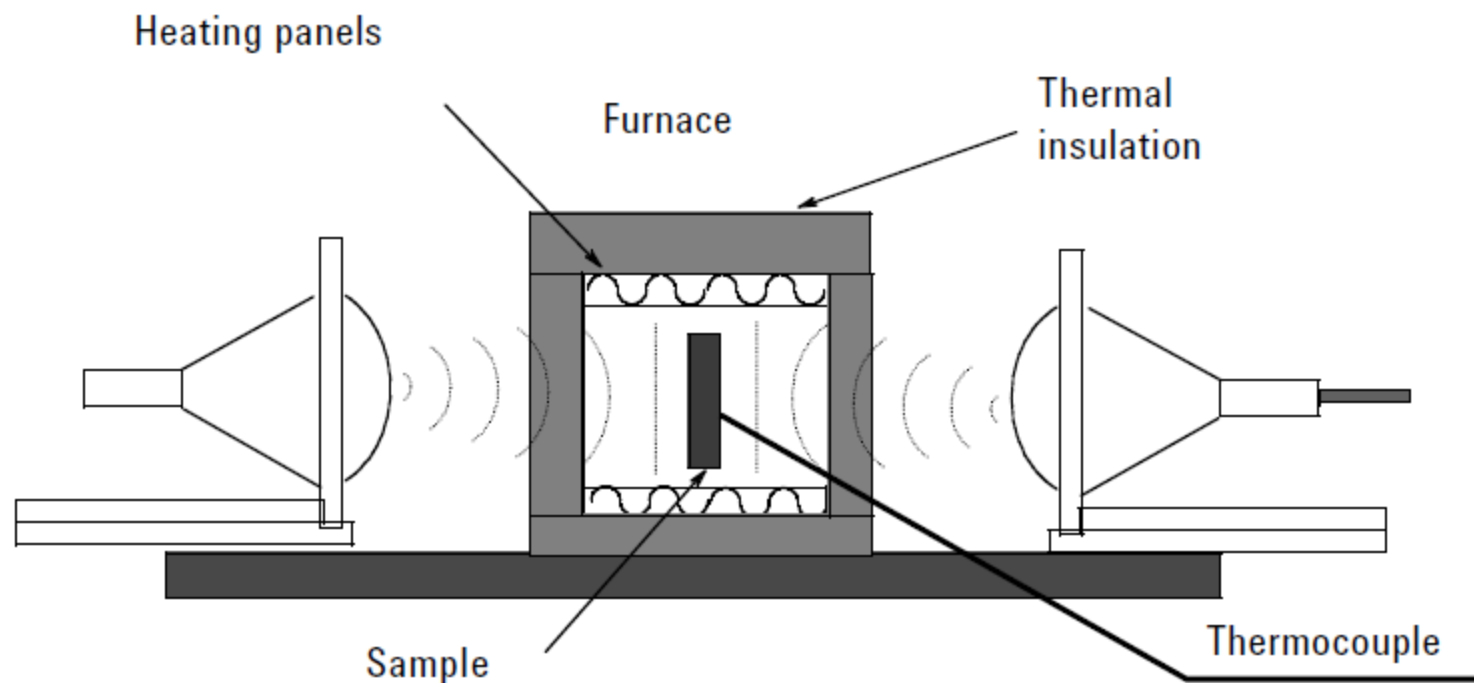


Рис. 3. Частотные зависимости модуля диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) исследованных материалов

Метод линии передачи в свободном пространстве



Метод линии передачи в свободном пространстве



Метод линии передачи в свободном пространстве



Метод линии передачи в свободном пространстве



Метод резонатора

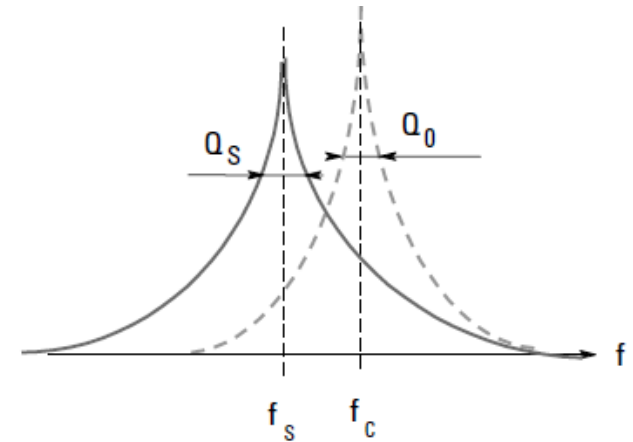
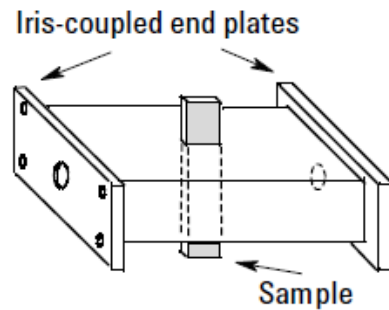
$$\epsilon_r' = \frac{V_c (f_c - f_s)}{2V_s f_s} + 1$$

$$\epsilon_r'' = \frac{V_c}{4V_s} \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_c} \right)$$

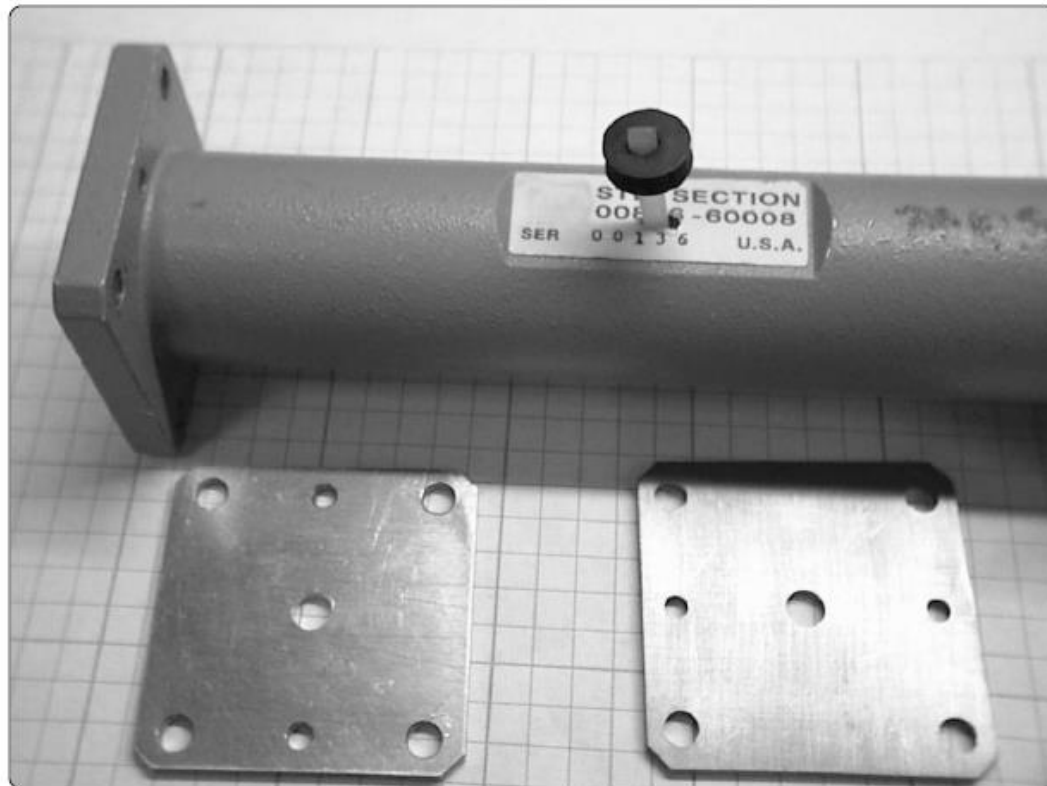
V is the volume

index c is for the empty cavity,

index s is for the sample loaded



Метод резонатора



Обобщение методов измерения параметров материалов

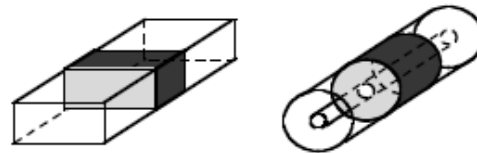
Coaxial probe ϵ_r



Broadband, convenient, non-destructive

Best for lossy MUTs; liquids or semi-solids

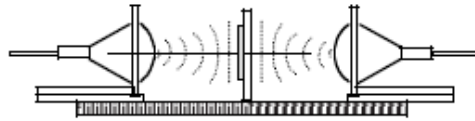
Transmission line
 ϵ_r and μ_r



Broadband

Best for lossy to low loss MUTs;
machineable solids

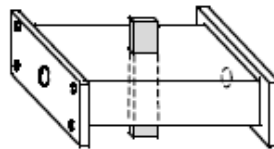
Free space
 ϵ_r and μ_r



Non-contacting

Best for high temperatures; large, flat samples

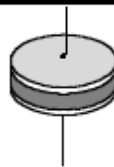
Resonant cavity
 ϵ_r and μ_r



Accurate

Best for low loss MUTs; small samples

Parallel plate ϵ_r



Accurate

Best for low frequencies; thin, flat sheets