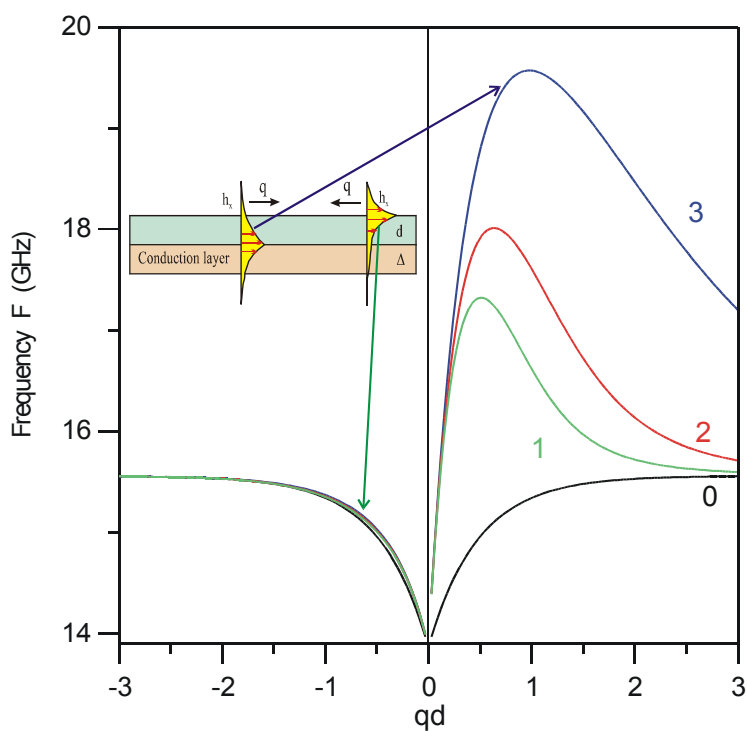
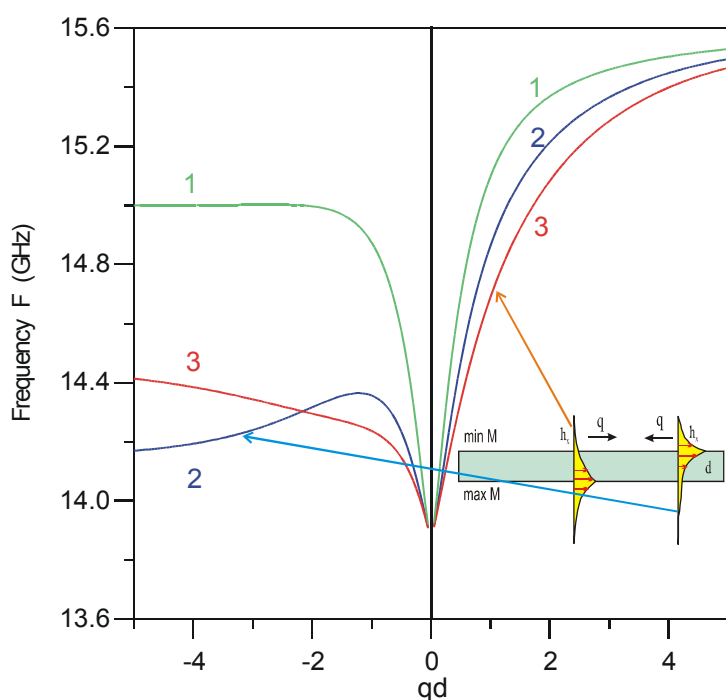


## Спинволновая спектроскопия

Анализ главных факторов, влияющих на дисперсионную кривую спиновой волны - проводимость гранулированной структуры, неоднородность магнитных параметров по толщине, наличие проводящего слоя вблизи гранулированной структуры, наличие слоя вблизи гранулированной пленки, магнитные характеристики которого отличны от ее характеристик, показал, что они по-разному изменяют форму дисперсионных кривых, что дает возможность определения магнитных и электрических характеристик магнитных наноструктур (Рис. 1 и 2).

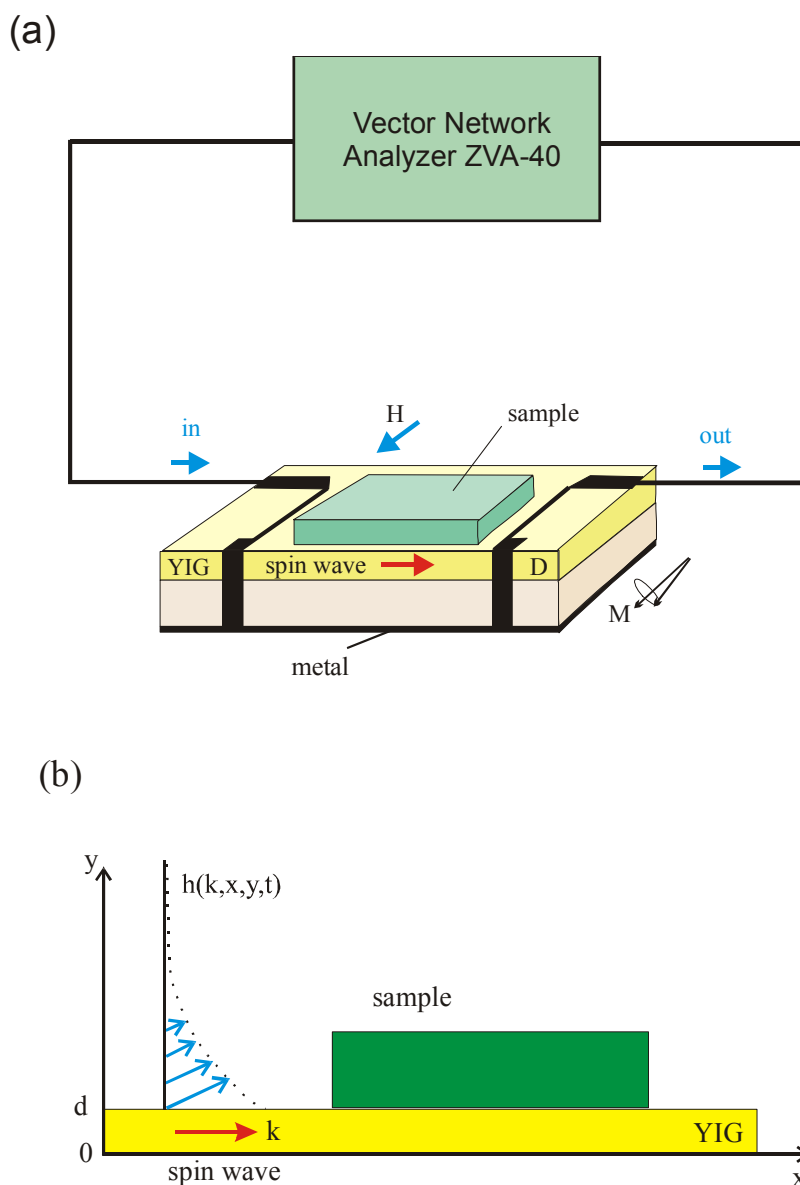


**Рис. 1.** Влияние проводимости  $\sigma$  слоя толщиной  $10 \mu\text{m}$  на дисперсионные кривые поверхностных спиновых волн (DE-моды), распространяющихся в магнитной пленке вдоль разных поверхностей. Намагниченность пленки  $4\pi M = 5 \text{ kOe}$ , толщина  $d = 400 \text{ nm}$ . Магнитное поле  $H$  равно  $3 \text{ kOe}$ . Проводимость слоя  $\sigma$ : (0) - 0, (1) -  $10^4$ , (2) -  $2 \cdot 10^4$ , (3) -  $1 \cdot 10^5 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ . Волновой вектор  $q$  нормирован на толщину пленки  $d$ .



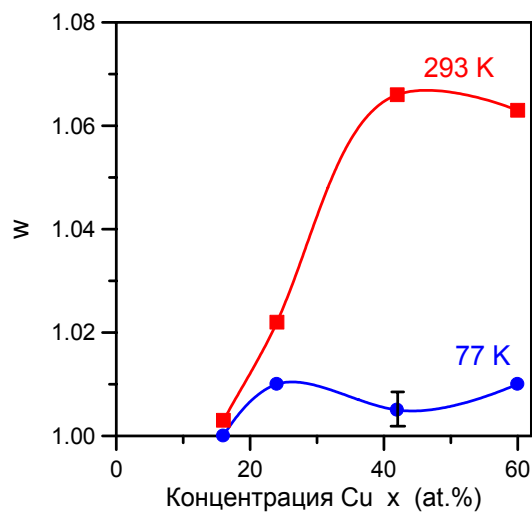
**Рис. 2.** Влияние градиента намагниченности  $\zeta$  пленки с профилем намагниченности  $4\pi M(z) = 5 \text{ kOe} - \zeta z$  на дисперсионные кривые поверхностных спиновых волн (DE-моды), распространяющихся вдоль разных поверхностей. Толщина пленки  $d = 400 \text{ nm}$ . Магнитное поле  $H$  равно  $3 \text{ kOe}$ . Градиент намагниченности  $\zeta$ : 1 - 1, 2 - 2.5, 3 -  $5 \text{ kOe}/\mu\text{m}$ . Волновой вектор  $q$  нормирован на толщину пленки  $d$ .

Решение задачи определения этих характеристик из дисперсионных зависимостей спиновых волн позволило развить метод спинволновой спектроскопии [5]. Схема измерений показана на рис. 3. В методе спинволновой спектроскопии образец гранулированной структуры помещался на пленку  $Y_3Fe_5O_{12}$  (YIG), имеющей микрополосковые антенны для возбуждения и приема спиновых волн. Переменное магнитное поле  $h$  поверхностной спиновой волны, распространявшейся в пленке YIG, взаимодействовало с образцом, что приводило к изменениям дисперсионной зависимости, групповой скорости и затухания спиновой волны. Для определения дисперсионных зависимостей и групповых скоростей спиновых волн использовались амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики ( $S$ -параметры), которые снимались с помощью векторного анализатора Rohde-Schwarz ZVA-40. Относительное изменение групповой скорости, которое измерялось по фазовому сдвигу наведенного тока на приемной антенне, определялось соотношением  $w = v_g^{(s)}/v_g^{(0)}$ , где  $v_g^{(s)}$  и  $v_g^{(0)}$  – групповые скорости, соответственно, с образцом и без образца.

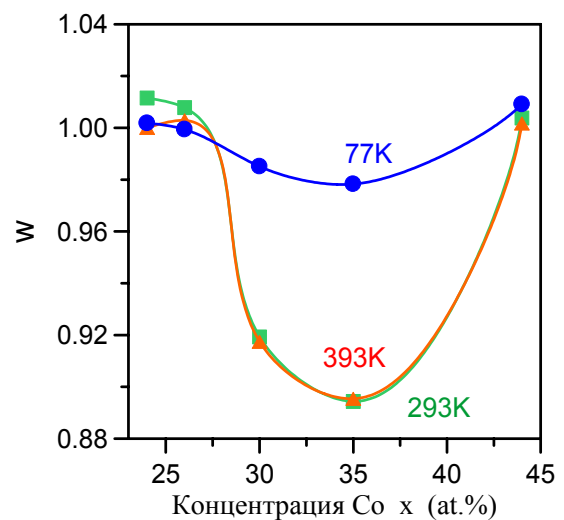


**Рис. 3.** (a) Блок-схема установки и спинволновой ячейки. (b) Распределение переменного магнитного поля  $h(k, x, y, t)$  поверхностной спиновой волны по оси  $Oy$  при данном волновом векторе  $k$ .

Метод спинволновой спектроскопии применен к структурам a-C:H с наночастицами Cu, SiO<sub>2</sub> с наночастицами Co, ZnO(Co), BaTiO<sub>3</sub> с наночастицами Ni, a-C:H с наночастицами Co и к структурам аморфного SiO<sub>2</sub> с гранулами сплава Co<sub>86</sub>Nb<sub>12</sub>Ta<sub>2</sub> [6, 7]. Генерация вихревых токов в проводящих гранулированных структурах, расположенных в области распространения спиновой волны, приводит к увеличению ее групповой скорости (Рис. 4). Если гранулированная структура содержит магнитные наночастицы, то при их малой концентрации вследствие спин-поляризационной релаксации спиновых возбуждений, наблюдается рост затухания спиновой волны в пленке YIG и падение ее групповой скорости (Рис. 5). При более высоких концентрациях металлических наночастиц наступает область перколяционного порога, что приводит к росту проводимости образцов и к росту групповой скорости спиновой волны.



**Рис. 4.** Изменение  $w$  групповой скорости спиновой волны в YIG пленке (14  $\mu\text{m}$ ) со слоем (a-C:H)<sub>100-x</sub>Cu<sub>x</sub> толщиной 50 nm к групповой скорости ненагруженной пленки YIG в зависимости от степени вхождения наночастиц Cu (2 – 3 nm) x при 77 K и при 293 K.



**Рис. 5.** Изменение  $w$  групповой скорости спиновой волны в YIG пленке, взаимодействующей с образцами (a-C:H)<sub>100-x</sub>Co<sub>x</sub>, в зависимости от концентрации Co x при температурах 77, 293 и 393 K.