

СПИН-СПИНОВОЙ ЭФФЕКТ В $Ag_{2+\delta}Se$

В.М.Березин, Н.М.Писарев

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
(Поступило в Редакцию 15 апреля 1994 г.
В окончательной редакции 27 января 1995 г.)

Селенид серебра $Ag_{2+\delta}Se$ — самолегированный, вырожденный полупроводник n -типа с узкой запрещенной зоной [1]. Концентрация электронов в зоне проводимости в значительной степени определяется величиной стехиометрического индекса δ . Для низкотемпературной β -фазы при комнатной температуре величина концентрации электронов проводимости, определенная методом эффекта Холла, составляет $10^{18} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, при этом удельная проводимость лежит в пределах $10^2 - 10^3 \text{ S/cm}$.

Значения проводимости, а также возможность варьировать проводимость в одном и том же образце электрохимическим методом с применением ячеек с твердыми электролитами [2] позволяют рассматривать селенид серебра в качестве удобного модельного объекта при изучении скин-эффекта.

Если образец в форме диска поместить в электромагнитное высокочастотное поле таким образом, чтобы вектор \mathbf{H} был направлен вдоль радиуса образца, то вследствие скин-эффекта в этом направлении возникнет градиент магнитного поля. Электроны проводимости, обладающие собственным магнитным моментом p_m , будут дрейфовать в область более сильного магнитного поля, т.е. от центра к периферии образца. Амплитудное значение возникающей при этом разности потенциалов между центром образца и его образующей можно вычислить по формуле

$$U = - \int_0^{r_0} \frac{\mu_0 p_m}{e} \frac{dH}{dr} dr, \quad (1)$$

где r_0 — радиус цилиндрического образца.

Магнитное поле проникает в глубь проводника согласно выражению [3]

$$H = H_0 \exp\left(-\frac{r}{\delta_0}\right) \cos\left(\frac{r}{\delta_0} - \omega t\right), \quad (2)$$

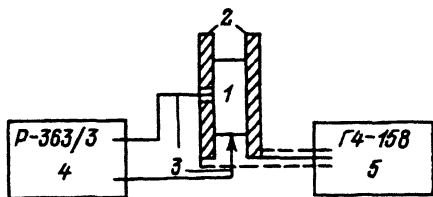
где $\delta_0 = \left(\frac{2}{\mu_0 \mu_r \omega \sigma}\right)^{1/2}$ — толщина скин-слоя.

После интегрирования (1) с учетом (2) для амплитудного значения получаем

$$U = \frac{\mu_0 p_m H_0}{e} \left(1 - \exp\left(-\frac{r_0}{\delta_0}\right)\right). \quad (3)$$

Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — образец, 2 — фольгированный стеклотекстолит, 3 — измерительные зонды, 4 — полуавтоматический мост постоянного тока, 5 — высокочастотный генератор.



Выражение (3) получено в предположении нормального скин-эффекта при условии, что период ВЧ-поля много больше времени спиновой релаксации (10^{-12} s). Выбор частотного диапазона продиктован требованиями к толщине скин-слоя, которая должна быть порядка радиуса образца.

Более общая задача, учитывающая эффекты опрокидывания, решена авторами в работе [4].

Для экспериментальной проверки описанного эффекта, который мы называли скин-спиновым, использовались прессованные образцы $Ag_{2+\delta}$ в виде шайбы диаметром 6 мм и высотой 2 мм. Поскольку проводимость образца σ пропорциональна величине стехиометрического индекса δ , величина этого индекса устанавливалась электрохимическим методом [5] такой, чтобы $\sigma = 100$ S/cm при комнатной температуре. Фазы селенида серебра получали прямым синтезом из чистых компонентов в вакуированных ампулах.

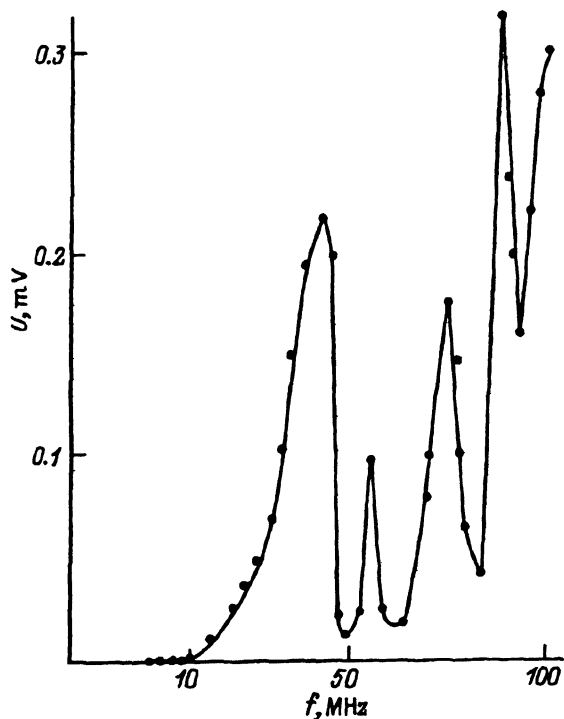


Рис. 2. Частотная зависимость напряжения постоянного тока между центром образца и его образующей.

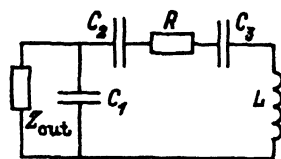


Рис. 3. Эквивалентная схема нагрузки высокочастотного генератора.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Образец 1 с помощью трубки зажимался между двумя половинками расщепленной на две части пластинки двустороннего фольгированного стеклотекстолита 2. С помощью пружинок к центру образца (через отверстие в пластине) и с боку поджимались два измерительных зонда 3. Напряжение постоянного тока, возникающее между этими зондами, измерялось полуавтоматическим мостом Р 363/3 4. Высокочастотное поле с H -компонентой, направленной по радиусу образца, создавалось генератором Г 4-158 5, который позволял плавно перестраивать частоту в пределах от нескольких кГц до 100 МГц. Амплитудное значение максимального выходного сигнала генератора — 2 В.

На рис. 2 приведена зависимость измеренного напряжения постоянного тока от частоты переменного поля, создаваемого в образце. Из этого рисунка видно, что при частотах $f < 10$ МГц эффект исчезает. Эти результаты хорошо согласуются с оценками толщины скин-слоя $\delta_0 = 2$ мм при $f = 10$ МГц и $\sigma = 100$ С/см, что примерно совпадает с радиусом образца. Таким образом, вид полученной экспериментальной зависимости указывает на то, что измеряемое напряжение обусловлено скин-спиновым эффектом в образце.

Осцилляции измеряемого напряжения мы связываем с частотной зависимостью импеданса нагрузки генератора. На рис. 3 приведена обобщенная эквивалентная схема измерительной цепи в наших опытах: Z — выходной импеданс генератора, C_1 — емкость кабеля, C_2 , C_3 — емкости держателя образца, L — распределенная индуктивность ячейки с образцом, $R(\omega)$ — активное сопротивление образца, величина которого также зависит от частоты в силу скин-эффекта. Из схемы видно, что осцилляции могут возникнуть как следствие рассогласованности импеданса нагрузки с выходом генератора.

Следует заметить, что в целом сглаженная экспериментальная зависимость качественно согласуется с (3). Это позволяет рассчитывать на применение скин-спинового эффекта для определения величины магнитной составляющей высокочастотного поля в образцах полупроводников и диэлектриков, или для определения магнитного момента носителей тока.

Список литературы

- [1] Горбачев В.В. Полупроводниковые соединения A_2B^{VI} . М. (1980). 132 с.
- [2] Чебетин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твердых электролитов. М. (1978). 312 с.
- [3] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М. (1959). 512 с.
- [4] Писарев Н.М., Вяткин Г.П., Березин В.М. Автоматизация энергосистем и энергоустановок промышленных предприятий. Челябинск. (1994). С. 73–76.
- [5] Березин В.М., Карих П.И. Изв. РАН, Неорган. материалы 29, 5, 715 (1993).