

– переход на производство и эксплуатацию солнечных элементов n-типа.

### **Литература**

1. Damiani, B. Light induced degradation in promising multi-crystalline silicon materials for solar cell fabrication / B. Damiani, K. Nakayashiki and others // Proceedings of 3rd World Conference on Volume 1, Issue, 11–18 May 2003 Page(s): 927–930 Vol. 1.

2. Schmidt, J. Mechanisms of Light-Induced Degradation in c-Si Solar Cells / J. Schmidt, K. Bothe, D. Macdonald, J. Adey, R. Jones, D. W. Palmer // The 4th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials (JSPS Si Symposium) 22–26 Nov., 2004, Kona – Hawaii, USA.

3. Schmidt, J. The Selection and performance of monocrystalline silicon substrates for commercially viable 20% efficient LID-free solar cells / J. Schmidt, K. Bothe, and R. Hezel // 19th European PV Solar Energy Conference, Paris, 2004.

**В.Н. Морозов (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Г. Пинчук**, д.т.н., профессор

### **ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ МЕТОДОМ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

В реальных кристаллах даже в состоянии термодинамического равновесия имеются дефекты кристаллической решетки, определяющие многие физические свойства. Знание реальной структуры кристаллических материалов позволяет не только выяснить структуру самих дефектов и влияние их на физические свойства твердых тел, но и создать предпосылки в направлении улучшения качества и создания материалов с заданными свойствами.

В ферромагнетиках существенное влияние на магнитные свойства, в частности на ширину линии ( $\Delta H$ ) ферромагнитного резонанса (ФМР) оказывают линейные дефекты кристаллического строения – дислокации. Эти дефекты определяют многие физические свойства кристаллов: пластическую деформацию, накопление скрытой энергии деформации, упругость и хрупкость. Взаимодействие дислокаций между собой и с другими дефектами в основном определяет критерии диспергирования

решетки и ее разрушения за счет формирования микротрещин, пор, двойников и других элементов микроразрушения [1].

Влияние дислокаций на  $\Delta H$  проявляется в веществах с константой магнитострикции отличной от нуля. Это обстоятельство связано с тем, что в силу магнитострикции градиенты упругих напряжений вокруг дислокаций вызывают заметные градиенты внутреннего магнитного поля в материале. Последние, в свою очередь, приводят к разбросу резонансных частот, а при фиксированной частоте электромагнитного поля генератора СВЧ – к уширению линии ФМР [1].

Сущность явления ФМР связана с взаимодействием внешнего электромагнитного излучения СВЧ – диапазона со спиновой системой ферромагнетика и избирательным поглощением этого излучения системой спинов при совпадении собственных частот системы и внешнего излучения. Резонансное условие определяется соотношением [2]:

$$\omega_{рез} = \gamma H_0, \quad (1)$$

где  $\omega_{рез}$  – круговая частота поля СВЧ,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $H_0$  – напряженность внешнего магнитного поля (электромагнита).

При наличии градиентов магнитного поля внутри ферромагнетика, обусловленных упругими полями дислокации условие ферромагнитного резонанса изменится и будет определяться следующим соотношением [2]:

$$\omega_{рез} = \gamma(H_0 + H_{лок}). \quad (2)$$

Поле  $H_0 + H_{лок} = H_{эфф}$  называется эффективным полем резонанса. Из соотношения (2) очевидно, что к основному резонансному условию (1) добавляются резонансы на локальных магнитных полях дефектов. В этом случае резонансная кривая поглощения будет расширяться в зависимости от количества дефектов и их расположения в кристаллической решетке. Таким образом ФМР является прецизионным методом неразрушающего контроля ферромагнетиков.

Согласно спин-волновым представлениям все дефекты кристалла, размеры которых находятся в пределах спин-волнового спектра, будут существенно уширять линии ФМР. В эксперименте на частоте генератора СВЧ порядка 10 ГГц реализуется спектр спиновых волн порядка  $10^{-5} \div 10^{-6}$  см, соизмеримый с протяженностью упругих полей дислокаций. Этими результатами определяется избирательность применяемого метода [3].

Для проведения исследований был создан радиоспектрометр ФМР, блок-схема которого приведена на рисунке 1.

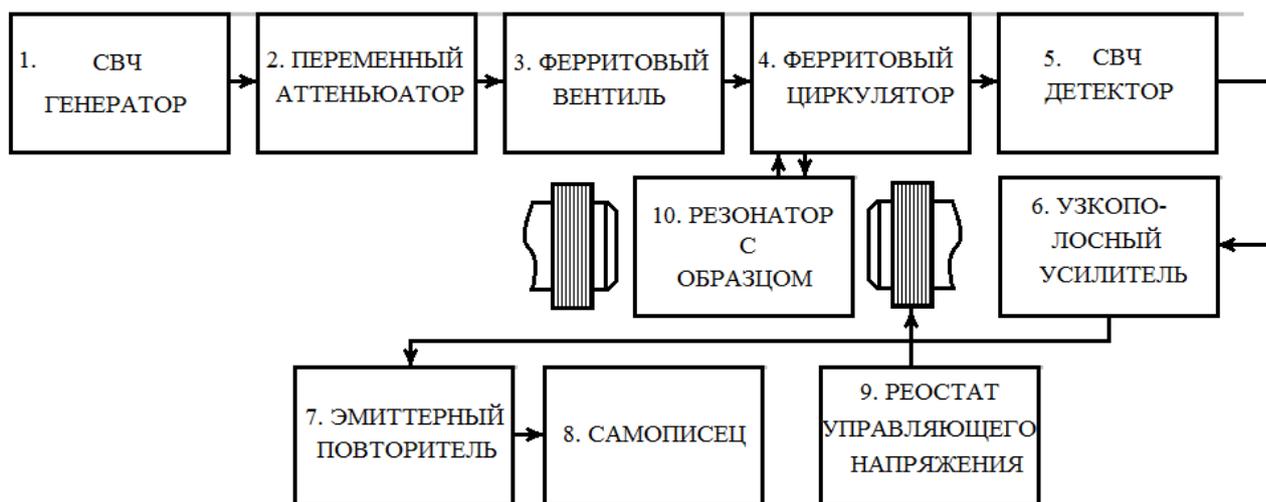


Рисунок 1 – Блок-схема спектрометра ФМР

Применение этой схемы обусловлено спецификой регистрации спектров ФМР в металлических образцах. Спектрометр представлял собой волноводную мостовую схему с отражательным прямоугольным резонатором, в котором возбуждались колебания  $TE_{103}$ . рабочая частота составляла 9,4 ГГц. Источником СВЧ – энергии служил *клизотрон К-59*. Использование отражательного резонатора исключало искажение картины возбуждаемого в нем поля металлическим образцом в силу того, что образец являлся частью одной из стенок резонатора, а также позволило применить мостовые схемы на ферритовом циркуляре или двойном тройнике, значительно повышающие чувствительность спектрометра. Для реализации высокой однородности магнитного поля, питания электромагнита осуществлялось от стабилизированного источника. Исследования определили линейную зависимость между уширением линии ФМР и плотностью дислокаций.

### Литература

1. Барьяхтар, В. Г. Влияние дислокаций на ширину линий однородного ферро- и антиферромагнитного резонансов / В. Г. Барьяхтар, М. А. Савченко, В. В. Тарасенко // ЖЭТФ. – 1968. – Т. 54. – В. 5. – С. 1603–1612.
2. Пинчук, В. Г. Особенности изменения дислокационной структуры никеля при трении / В. Г. Пинчук, Б. А. Савицкий, А. С. Булатов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1983. – № 9. – С. 72–75.
3. Пинчук, В. Г. Структурные аспекты микропластической деформации и разрушения металлов при трении / В. Г. Пинчук, С. В. Короткевич, С. О. Бобович // Деформация и разрушение металлов. – 2007. – № 9. – С. 23–28.