

*Секция: Физико-математические науки*

**КУЗЬМИНА АЛИНА СЕРГЕЕВНА**

*аспирант кафедры квантовой физики и нанотехнологий*

*Иркутский национальный исследовательский*

*технический университет*

*г. Иркутск, Россия*

## **РМП НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СПИНТРОНИКИ**

*Спинтроника* (спиновая электроника) – стремительно развивающаяся область квантовой электроники, основанная на использовании спина (собственного магнитного момента) электрона наряду с его зарядом. Спинтроника относится к мультидисциплинарной области науки и технологии, образованной на стыке физики магнетизма, оптоэлектроники и микроэлектроники [1, с. 1–6]. Спинтронные устройства обладают быстротой и энергоэффективностью за счет того, что спин электрона можно «переключать» из одного состояния в другое с меньшими затратами энергии и за меньшее время, чем требуется на перемещение заряда по электрической схеме. Кроме того, поскольку при смене спина не меняется кинетическая энергия носителя, то тепло практически не выделяется [2, с. 41–45].

В настоящее время спинтроника разделяется на несколько подвидов: металлическая, полупроводниковая, органическая, сверхпроводниковая, молекулярная, квантовая и т.д. Они развиваются по общей схеме: эффекты → материалы → технология → приборы и устройства [3, с. 339–346].

Из всех полупроводниковая спинтроника является наиболее интенсивно развивающейся, поскольку призвана решить проблемы современной микроэлектроники. *Полупроводниковая спинтроника* (ПС) —

наука о сосуществовании зарядовых и спиновых степеней свободы в легированных полупроводниках и наноструктурах, природе ферромагнетизма и методах синтеза этих материалов, создании приборов и устройств, использующих спиновые характеристики в полупроводниках [4, с. 2255–2303]. Она вызывает особый интерес исследователей всего мира тем, что может сочетать достоинства полупроводников (управление током в полупроводнике электрическим потенциалом затвора, сочленение с оптическими элементами и др.) с достоинствами магнитных материалов (управление током путем изменения распределения намагниченности в материале, энергонезависимость и др.) [5, с. 1336–1348].

В обзоре *Д. Авсчалама* и *М. Флатте* [6, с. 153–159] сообщается о проблемах ПС, её существующих и ожидаемых преимуществах. Кроме того, авторы представили краткую историческую справку о становлении ПС. Хронология экспериментальных открытий, заложивших основу ПС, показана на рисунке 1.

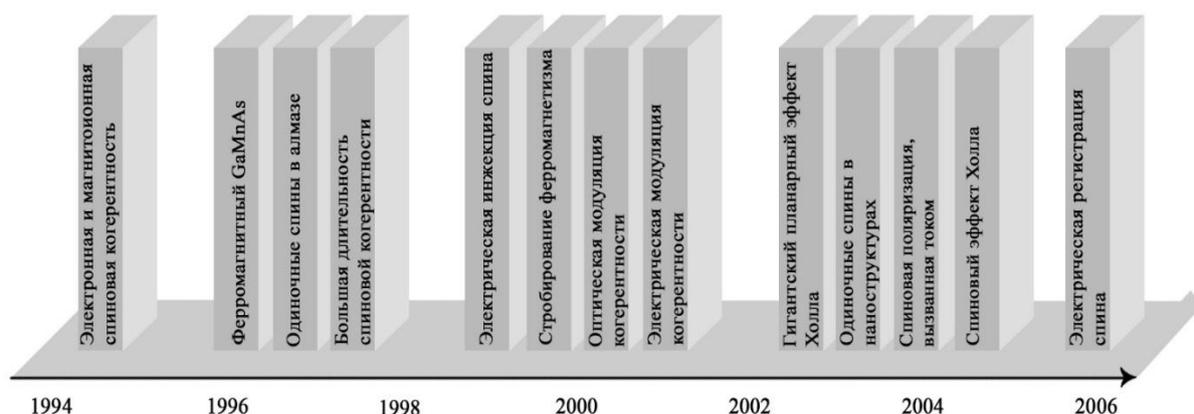


Рисунок 1 – Хронология основополагающих экспериментальных открытий полупроводниковой спинтроники (1994–2006 гг.) [6, с. 153–159]

Сейчас ПС в основном сконцентрирована на изучении влияния дефектов, магнитных и немагнитных примесей на электронную структуру полупроводников, а также на изучении физико-химические свойств, которые важны для понимания в них природы различных эффектов и

явлений (например, высокотемпературного ферромагнетизма), а также прогнозирования новых спинтронных материалов с требуемыми параметрами. Для практической реализации материалы ПС должны удовлетворять, по крайней мере, четырём требованиям: стабильностью свойств под действием внешних условий (давления, температуры, влажности); возможностью нанесения омических контактов; должны иметь такое время спиновой когерентности, которое не приводит разориентации спинов и потере информации; должны обладать высокой подвижностью носителей заряда и быть ферромагнитными при комнатной температуре [26].

Одной из главных задач ПС является интеграция магнитных систем в полупроводниковую микроэлектронику. Для того, чтобы создать эффективное устройство, которое использует и спин, и заряд электрона, необходим ферромагнетик, являющийся полупроводником. В большей степени требованиям, предъявляемым к материалам спинтроники, удовлетворяют *разбавленные магнитные полупроводники* (РМП) группы  $A^2B^6$  (ZnO, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe), представляющие собой полупроводники на основе твёрдых растворов, в которых часть атомов решётки замещена атомами магнитных переходных металлов или редкоземельных элементов. В связи с достаточно высокой растворимостью ионов (до нескольких десятков процентов) в полупроводниковых соединениях  $A^2B^6$ , они являются перспективными для получения магнитных полупроводниковых материалов с высокими температурами Кюри, а также для управления и контроля их магнитными, полупроводниковыми и оптическими свойствами.

В последнее время широкозонный полупроводник – *оксид цинка*, обладающий большой энергией связи экситонов, является одним из наиболее интересных полупроводников  $A^2B^6$  для научных исследований. Уникальное сочетание уже существующих и ожидаемых свойств тонких

плёнок на основе ZnO открывают широкие перспективы применения в новых спинтронных устройствах [7, с. 107–115]. Согласно базе данных *Web of Science* (на 26.08.2016) за последние 20 лет по теме «тонкие плёнки ZnO» опубликовано 2925 статей с суммарным количеством цитирований – 83921. Следует отметить, что них 1036 статей издано в последние несколько лет (2014–2016 гг.). Аппроксимация графиков публикационной активности, представленных на рисунке 2, показывает практически постоянный рост количества статей и цитирований, что свидетельствует об *актуальности исследований* по указанной теме не только в России, но и за рубежом.

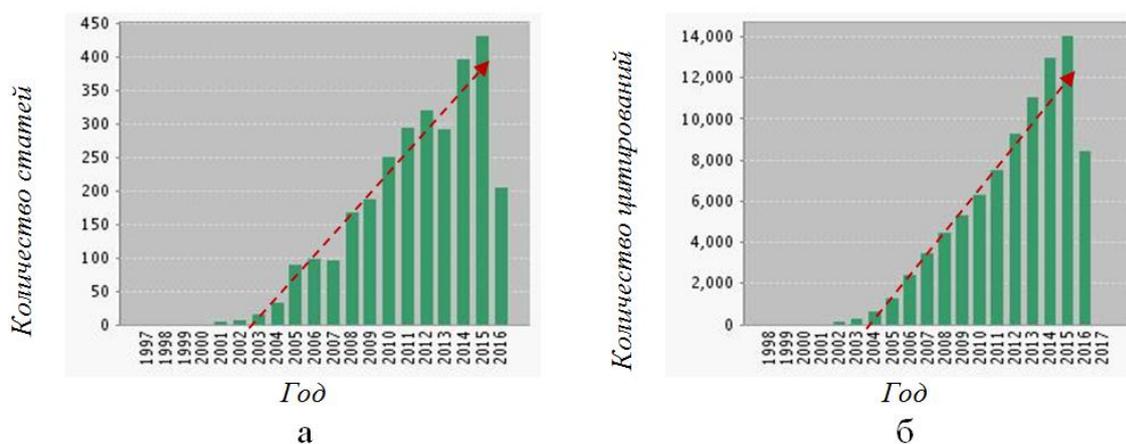


Рисунок 2 – Динамика публикационной активности по теме «тонкие плёнки ZnO» с 1997 по 2016 гг. согласно базе данных *Web of Science*: количество опубликованных статей (а) и цитирований на них (б)

Из всего вышесказанного есть основания полагать, что полупроводниковая спинтроника на основе ZnO может занять важнейшее место в науке и технологии XXI века.

### **Литература:**

1. Данилов Ю.А. Магнитные полупроводниковые наноструктуры для приборов спинтроники / Ю.А. Данилов // Приложение к журналу «Вестник РГРТУ». – 2009. – № 4. – С. 1–6.
2. Борисов Е. Спинтроника. Куда двигаться дальше? / Е. Борисов // Вектор высоких технологий. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 41–45.
3. Данилов Ю.А. Структуры и приборы полупроводниковой спинтроники на основе соединений  $A^3B^5$  / Ю.А. Данилов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – №5 (2). – С. 339–346.
4. Иванов В.А. Спинтроника и спинтронные материалы / В.А. Иванов, Т.Г. Аминов, В.М. Новоторцев и др. // Изв. акад. наук. Сер. Хим. – 2004. – № 11. – С. 2255–2303.
5. Ферт А. происхождение, развитие и перспективы спинтроники (Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2007 г.) / А. Ферт // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1336–1348.
6. Awschalom D. D. Challenges for semiconductor spintronics / D. D. Awschalom, M. E. Flatté // Nature Physics. – 2007. – V. 3 – P. 153–159.
7. Журавлёва А.С. Влияние условий электрохимического оксидирования на морфологию и устойчивость анодных плёнок ZnO / А.С. Журавлёва, О.Д. Петрова, М.П. Кузьмин, М.Ю. Кузьмина // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 1 (108). – С. 107–115.