

Отзыв

на автореферат диссертации Макарова Андрея Сергеевича

«Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность анализа и количественного описания взаимосвязи между диаупругими релаксациями, тепловыми эффектами, релаксацией объема и избыточными термодинамическими функциями металлических стекол с учетом взаимозависимости свойств кристалла, расплава и стекла обусловлена необходимостью преодоления следующего противоречия. С одной стороны, уникальное сочетание высоких прочностных свойств, коррозионной стойкости и магнитных характеристик определяет широкий потенциал практического применения металлических стекол. С другой стороны, отсутствие четких критериев стеклообразующей способности расплавов наряду с ограничениями традиционных методов структурного анализа не позволяет идентифицировать структурные закономерности, определяющие как стеклование расплавов, так и релаксационное поведение физических свойств металлических стекол. Разработанный в диссертации энтропийный подход и предложенный безразмерный параметр структурного порядка позволяют количественно оценить степень упорядочения металлических стекол и установить ее корреляцию со стеклообразующей способностью расплавов, что вносит вклад в решение фундаментальной проблемы стеклования и описания эволюции структуры аморфных сплавов при термическом воздействии.

Работа отличается значительной новизной полученных результатов. В работе впервые осуществлена экспериментальная проверка гипотезы о равенстве температурных коэффициентов модуля сдвига для стеклообразного и кристаллического состояний в отсутствие структурной релаксации. Впервые разработан и экспериментально проверен комплекс методов, позволяющих рассчитывать температурную зависимость нерелаксированного модуля сдвига металлических стекол, кинетику тепловых эффектов при их изохронном нагреве, а также релаксационную составляющую относительного изменения объема, при этом продемонстрировано, что тепловые эффекты структурной релаксации количественно описываются изменением концентрации дефектов межузельного типа, определяемым из анализа релаксации модуля сдвига. Впервые предложен и верифицирован метод расчета хрупкости металлических стекол, основанный на анализе температурной зависимости модуля сдвига в интервале переохлажденной жидкости. Разработан метод выделения избыточных термодинамических функций металлических стекол относительно их кристаллических аналогов. На основе анализа избыточной энтропии введен безразмерный параметр структурного порядка и установлена его корреляция со стеклообразующей способностью расплавов, что свидетельствует о решающей роли структурного беспорядка в процессах стеклования. Впервые показано, что сдвиговая вязкость при температуре стеклования закономерно возрастает с увеличением энтропии смешения и снижается с ростом избыточной энтропии, что указывает на уменьшение релаксационной способности высокоэнтропийных металлических стекол. Установлено совпадение температурных зависимостей избыточных термодинамических функций металлических стекол в состоянии переохлажденной жидкости с соответствующими зависимостями переохлажденных расплавов, что

подтверждает корректность предложенного метода и демонстрирует стирание термической предыстории при переходе стекла в переохлажденное жидкое состояние.

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием комплекса современных взаимодополняющих экспериментальных методов, широкой базой исследованных систем, хорошим согласием полученных данных с результатами независимых исследований, а также соответствием принципам физики конденсированного состояния. Основные результаты прошли широкую апробацию на многочисленных всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 27 статьях в ведущих рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science).

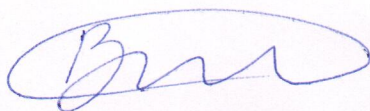
Автореферат оформлен согласно установленным требованиям к работам на правах рукописи. В автореферате сформулированы цель и задачи работы, положения, выносимые на защиту, представлены основные результаты и выводы. Приведенные в автореферате данные и их анализ позволяют в полной мере оценить новизну и обоснованность защищаемых положений. Содержание работы соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки).

В качестве дальнейшего развития представленного направления можно отметить перспективность применения разработанного аппарата для анализа влияния различных видов обработки (например, интенсивной пластической деформации, термического циклирования) на релаксационное поведение и дефектную структуру металлических стекол, что может быть важным для управления их свойствами.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Макаров Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук (физика полупроводников), профессор физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

06 августа 2026 г.



Тимошенко Виктор Юрьевич

Подпись Тимошенко Виктора Юрьевича удостоверяю:



Наименование организации: Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет

Адрес организации: 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический Факультет

Тел.: +7 (495) 939-16-82; E-mail: timoshenkovy@my.msu.ru

Даю согласие на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Макарова А.С.