

УДК 620.22

Д. А. Левина*, **Л. И. Чернышев**

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Представлені основні пріоритети європейської науки про матеріали, викладені в “Білій книзі з матеріалознавства”, яка підготовлена провідними європейськими вченими. Показані напрямки досліджень металів та сплавів, передової кераміки, полімерів та композитів на їх основі. Наведено систему цілей науково-технологічного розвитку матеріалознавства в Україні.

Ключові слова: пріоритети розвитку, європейське матеріалознавство, метали, сплави, передова кераміка, полімери, композити, науково-технологічні цілі матеріалознавства в Україні.

В начале третьего тысячелетия человечеству для улучшения качества жизни, уменьшения зависимости от природных ресурсов, снижения негативного воздействия на окружающую среду требуется качественно новый, основанный на знаниях, подход к технологическим проблемам. Мир стоит на пороге революционных изменений в науке и технологии, которые повлияют на все аспекты человеческой жизни. Безусловно, эти изменения в значительной степени затронут материаловедение, а также все отрасли, связанные с технологией материалов и их использованием.

Человечество нуждается в успешном развитии материаловедческой науки, без которой невозможно решение таких сложных проблем, как экологическое загрязнение, сокращение природных ресурсов, перенаселение, борьба с болезнями.

Общество Макса Планка — одна из самых известных, авторитетнейших во всем мире материаловедческих организаций Западной Европы — подготовило Европейскую “Белую книгу по материаловедению” (European White Book on Fundamental Research in Materials Science), в которой были намечены основные направления и тенденции развития науки о материалах в ближней и отдаленной перспективах, сфокусировано внимание на потребностях общества в новых материалах, а также на современных возможностях их “конструирования” и разработки.

В создании этой книги приняли участие более 100 ведущих ученых-материаловедов, главным образом, из Европы, но были привлечены также эксперты из США и Японии. Координировал этот проект Институт металловедения Макса Планка (Max-Planck Institut für Metallforschung, Штутгарт, Германия).

Для успешного развития материаловедения, как показывает опыт, необходимы глубокие фундаментальные исследования в области физики, химии, механики, физической химии, биологии и других наук. Трудно переоценить влияние, которое оказали такие революционные результаты фундаментальных исследований в физике, как, например, открытие рентгеновских лучей, позволивших заглянуть внутрь атомной структуры вещества, раскрыть атомные механизмы, контролирующие его поведение в различных условиях, или открытие явления сверхпроводимости. Такие открытия становятся базой для развития последующих прикладных исследований.

*©Левина Діана Анатоліївна, кандидат фізико-математичних наук, працює в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України з 1968 року, старший науковий співробітник лабораторії інформатики та міжнародного співробітництва. Напрями роботи — науково-організаційні дослідження, прогностичні розробки.

Чернышев Леонид Иванович, 1941 року народження, кандидат технічних наук, працює в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України з 1964 року, завідуючий вищезгаданою лабораторією. Напрями роботи — порошкова металургія, організація міжнародного співробітництва.

К сожалению, одной из особенностей фундаментальных исследований есть их непредсказуемость результатов конкретных проектов и времени, которое потребуется для достижения положительных результатов.

Особенностью фундаментальных исследований, результаты которых обещают большой прогресс для материаловедения в ближайшем будущем, должен быть поиск неизвестных до сих пор физико-химических явлений и создание на этой основе новых многофункциональных, “разумных”, био-, наноструктурных, сверхчистых и других материалов, столь необходимых для развития современной техники.

Если в прошлом основной задачей материаловедения было развитие теоретических представлений о механизмах процессов и их количественное описание, то сегодня необходимо аккумулировать и обобщить информацию о большом количестве электрических, магнитных, оптических, механических и термических явлений, описанных в терминах классических или квантовых представлений науки о конденсированных состояниях материи. Для материаловедения в ближайшие десятилетия будут характерными управление и контроль процессов на наноразмерном (10–9 м) и фемтосекундном (10–15 с) уровне. На рис. 1 представлены приоритетные направления фундаментальных материаловедческих исследований.

Крайне необходимым для создания базовых технологий и для возможности управления механическими, термическими, химическими и другими свойствами многокомпонентных сплавов, керамики, композитов, материалов с наноразмерными компонентами является дальнейшее углубление наших представлений о строении материалов и природе процессов, которые в них происходят.

Приобретет еще большую актуальность изучение явлений, происходящих на поверхности и на межфазных границах, поскольку большинство процессов в материалах носят кооперативный характер и в значительной мере зависят как от размера самой системы, так и от наличия и состояния поверхности и межфазных границ.

Большой потенциал имеет создание и изучение малоразмерных систем, таких, например, как коллоидные, биомиметические (материалы, похожие по структуре на естественные биологические объекты) и биоматериалы (имплантаты, биосенсоры и т. п.), которые найдут широкое применение как многофункциональные материалы. Значительный научный и технологический интерес для исследований имеет управление процессами, которые происходят в материалах при их обработке во временных интервалах порядка пикосекунды и менее. Так, сверхбыстрое переключение магнитных доменов в искусственных структурах планируется использовать в новых информационных технологиях.

Важным научным материаловедческим направлением является изучение поведения материалов в экстремальных условиях: при высоком давлении, высокой температуре, а также в больших электрических и магнитных полях.

Исследования в области синтеза и обработки материалов имеют целью усовершенствование или разработку новых методов изготовления материалов, существенное повышение их свойств, снижение стоимости их промышленного производства. Основными направлениями здесь прогнозируются:

- сквозной по всему технологическому циклу контроль состава, структуры и свойств материала;

- внедрение водорастворимых химических технологий для реализации недорогих экологически чистых методов синтеза;

- быстрое формование с использованием химических реакций для получения изделий из новых материалов;

- конструирование материалов во всех размерных масштабах, от атомного до макроскопического;

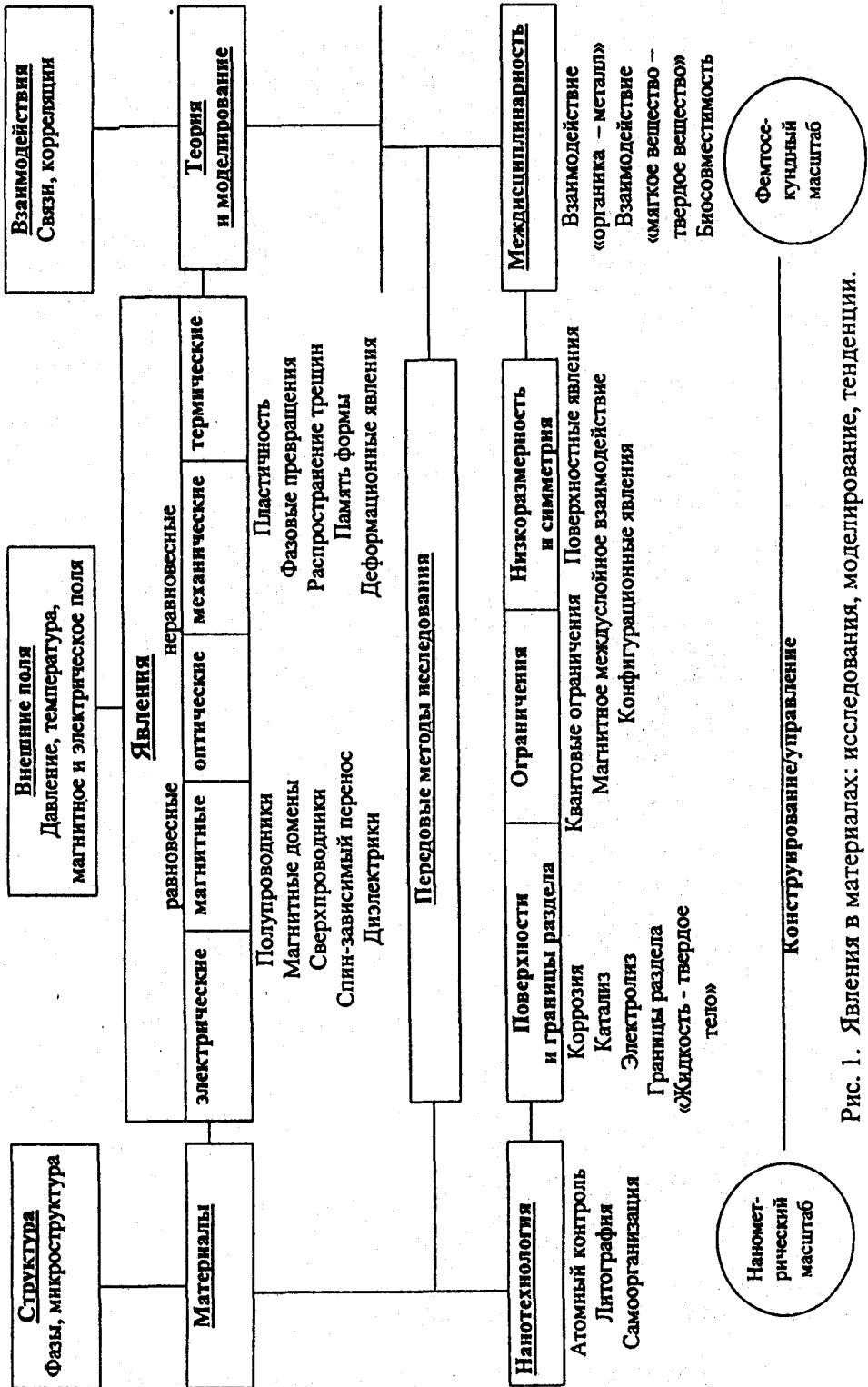


Рис. 1. Явления в материалах: исследование, моделирование, тенденции.

компьютерное моделирование сложных явлений для изучения и управления процессами синтеза;

нанесение тонких пленок и покрытий для повышения свойств и увеличения жизненного цикла работы конструкций;

использование достояния химии сверхкритических жидкостей для изготовления новых материалов, в том числе и наноматериалов, таких как оксиды, нитриды и металлы с контролируемой формой и размером кристаллов в интервале от микро- до наноразмеров.

Базовые исследования будут проводиться в области выращивания кристаллов, осаждения из паровой фазы, спекания, фазовых превращений и реологии, будут разрабатываться оптимальные режимы и осуществляться сравнительные эксперименты разных методов синтеза.

При разработке методов синтеза и обработки материалов приоритетными являются:

их миниатюризация;

синтез и обработка биомиметиков;

создание комплексных структур из нано- и мезоблоков, в том числе и самоорганизующихся;

инженерия поверхности и границ как средство улучшения и оптимизации всех видов материалов;

дальнейшее распространение моделирования процессов синтеза и обработки, которое уже заменило традиционный метод “проб и ошибок”;

автоматизация процессов синтеза и обработки, особенно наноматериалов, которые требуют высокой точности.

Прогресс в материаловедении тесно связан с достижениями передовых методов исследования атомного и электронного строения материалов на наноразмере, а также с изучением, распознаванием и количественным анализом явлений и процессов в конденсированном состоянии.

В ближайшие десятилетия предполагается создание необходимых для таких исследований электронных микроскопов сверхангстремного и сверхэлектронвольтового разрешения; рентгеновских дифрактометров с пространственным разрешением 10 нм.

Для привлечения крупных инвестиций в материаловедение и материалопроизводящую промышленность необходим комплекс мероприятий, направленных на то, чтобы помочь промышленности, общественности и политикам признать важность новых материалов для будущего технологического развития.

Тесный контакт университетских коллективов с промышленными коллективами является важным фактором успешного развития материаловедения в США. Этому успеху в значительной мере способствуют и превосходные лаборатории при таких крупных компаниях, как Du Pont, IBM, AT&T, Corning, Exxon. Однако эта благотворная традиция, к сожалению, не развивалась в Европе. Более того, здесь не используются экономические стимулы для исследователей превращать свои научные результаты непосредственно в новую продукцию.

Еще недавно материаловедение было самостоятельной наукой, развивающейся по достаточно изолированным друг от друга направлениям, таким, например, как полупроводники, керамика, металлургия и др. Но ситуация непрерывно меняется, и сегодня оказывается более плодотворным многодисциплинарный подход к исследованиям, когда в конечный результат вносят вклад ученые различных отраслей науки — физики, химики, биологи, а также инженеры разных специальностей.

Очень часто оригинальные плодотворные идеи возникают на стыках научных дисциплин. Например, интересные мысли нередки у молодых исследо-

вателей, у которых еще не установился образ мышления, ориентированный на определенную научную дисциплину, у опытных ученых, перешедших из одной научной дисциплины в другую либо при общении ученых разных научных профилей. Поэтому следует устранять административные барьеры, препятствующие перемещению ученых из одной научной дисциплины в другую или из одного учреждения в другое, из одной страны в другую.

При решении сложных материаловедческих задач большую роль должны играть центры материаловедения и технологии, в которых собраны научные коллективы из материаловедов, физиков, химиков, биологов, компьютерщиков и инженеров. Удачными примерами объединения усилий ученых различного профиля могут служить Международный исследовательский центр науки и технологии полимеров при университете в Ливерпуле и Международный исследовательский центр сверхпроводимости при университете в Кембридже.

Большие возможности для кооперирования ученых и специалистов различного профиля открывает Интернет. Целесообразно создать в этой системе специальный международный регистр ученых и инженеров, работающих в области материаловедения, для облегчения установления контактов и поиска экспертов и партнеров по любому направлению материаловедения. Для этого могут быть использованы и созданы новые сети (e-Networks), подобные той, которая была разработана Федерацией европейских материаловедческих обществ (Federation of European Materials Societies, FEMS).

Моделирование является эффективным средством междисциплинарного характера для: прогнозирования структуры и свойств новых материалов, в том числе нано- и биоматериалов; оптимизации решения проблем выбора материалов для конкретных применений; моделирования процессов синтеза, обработки и формирования структуры для получения необходимых свойств материалов; интегрирования многомерных подходов и концепций к материаловедческим проблемам на электронном, атомном, молекулярном и континуальном уровнях; исследования явлений, которые трудно поддаются экспериментальному изучению; решения проблем снижения стоимости и уменьшения времени разработки материалов и их внедрения в практику.

Для успешного развития этих работ потребуются суперкомпьютеры с большим объемом памяти, высоким быстродействием и с соответствующим программным обеспечением, размещенные в различных лабораториях, но объединенные в единую сеть. Уровень материаловедения сегодня позволяет “конструировать” структуру материала на атомном и молекулярном уровне для получения определенных свойств. Примером такого “конструирования” может быть создание фуллеренов, нанотрубок, различных биоматериалов. Области применения новых материалов весьма разнообразны (см. рис. 2).

Задания, стоящие перед исследователями всех классов материалов, носят двойственный характер. С одной стороны, целесообразным является усовершенствование существующих материалов (таких, например, как стали) путем оптимизации микроструктуры и состава (например, с использованием микролегирования). С другой стороны, необходимо создание новых материалов, особенно для новых применений.

Кроме того, следует отметить, что промышленность чаще всего требует разработки материалов, отвечающих, как правило, только техническим требованиям, обусловленным их эксплуатацией, без достаточного внимания к вопросам экологии, экономики, безопасности и эффективности. В будущем при создании новых или усовершенствовании старых материалов должен осуществляться комплексный подход с учетом этих аспектов.

Рассмотрим кратко состояние, особенности и тенденции разработок, характерные для конкретных классов неорганических материалов.

Металлические материалы благодаря своим механическим свойствам и надежности в широком температурном интервале обладают большим потенциалом для применения и развития в будущем. Металлы, сплавы и композиционные материалы с металлической матрицей (ММК) по-прежнему представляют собой доминирующую во всем мире группу конструкционных и функциональных материалов. Основные проблемы этого класса материалов сводятся к созданию научных основ и разработке:

- легких конструкционных материалов и технологий изготовления деталей из них;
- самоорганизующихся микроструктур;
- материалов, толерантных к дефектам структуры;
- “разумных” материалов;

специальных материалов, работающих в экстремальных условиях комплексному изучению процессов деформации и разрушения.

Исследования должны быть сфокусированы на решении ряда ключевых научных вопросов, среди которых первостепенным является оптимизация и способы управления микроструктурой.

Особого внимания заслуживает изучение межзеренных и межфазных границ в металлах и ММК, в значительной степени определяющих структуру и свойства этих материалов. С большой вероятностью можно ожидать существенного прогресса в фундаментальных представлениях и технологиях, связанных с наличием высокой плотности гомо- и гетерофазных границ в этих материалах. Только концепцию можно реализовать, создав сложную объемную перколяционную структуру, различных слоистых систем, бамбукообразных структур и т. п. Внимание исследователей целесообразно сконцентрировать на электронном, атомном и макроскопическом аспектах механизмов образования и движения границ в системах типа металл/металл, металл/керамика и металл/полимер.

Процессы получения материалов и их обработки часто являются определяющими для “конструирования” микроструктуры и формирования свойств сплавов и ММК. Назовем кратко основные темы для исследований в этой области:

- самоорганизация и самоконструирование микроструктуры с желаемыми свойствами;

- слоистые и градиентные структуры;
- сверхпрочные металлические композиты;
- металлические пены;

- наноразмерные частицы: получение, самоорганизация;

- получение толсто- и тонкопленочных наноструктурных материалов;

- интерметаллиды: сочетание высокой прочности, пластичности и ползучести, вопросы усталостного сопротивления, коррозионной стойкости;

- получение in-situ наноструктурных материалов с использованием деформации, металлургических методов, осаждения и диффузии;

- высокотемпературные сплавы и изделия для работы в экстремальных условиях: материалы для турбин, космического использования, а также для применения в агрессивных средах;

- изучение ранее неизвестных необычных комбинаций разнообразных металлов и микроструктур, которые могут привести к разработке абсолютно новых материалов с полезными свойствами;

- процессы соединения материалов.

Особого внимания в рассматриваемом классе материалов заслуживают ММК.

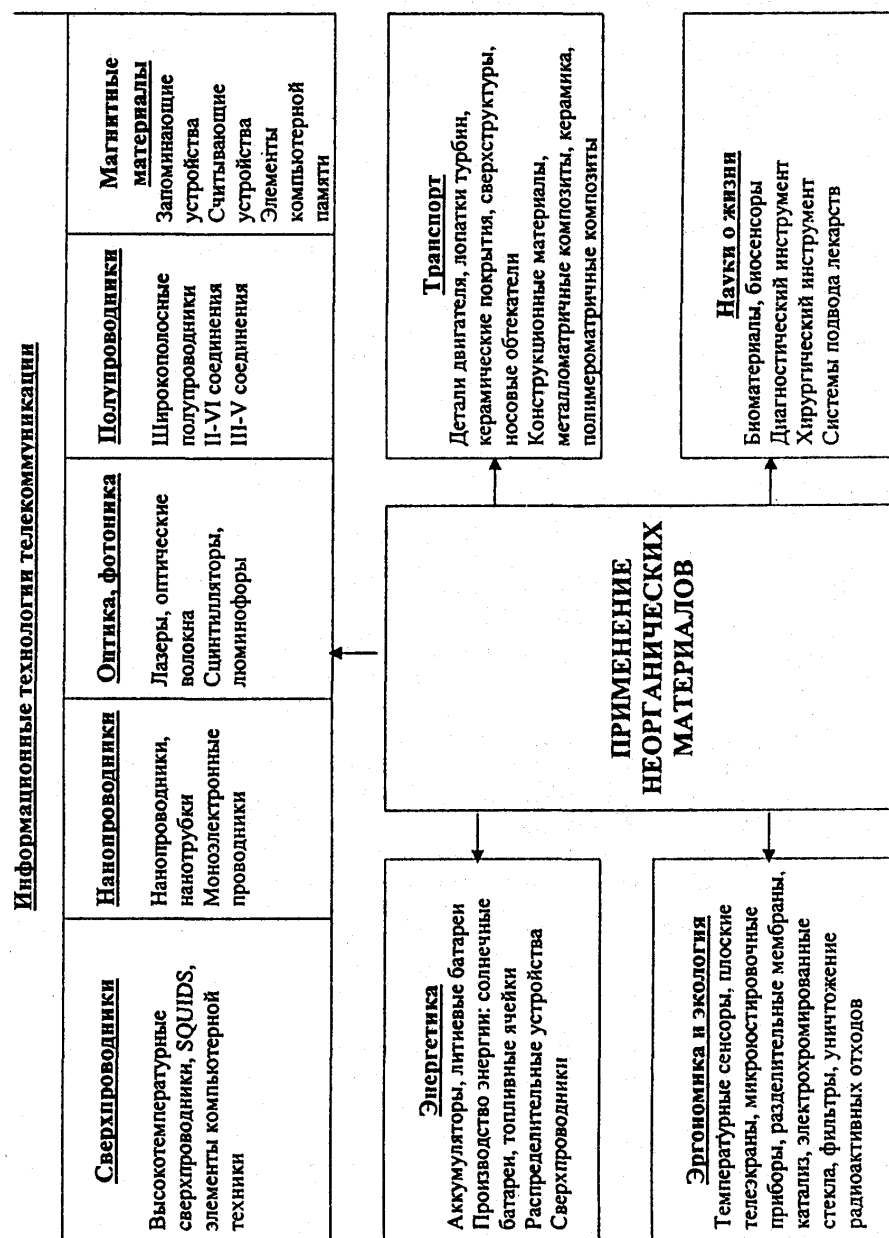


Рис. 2 Виды и области применения неорганических материалов.

Упрочнение таких металлов, как алюминий, медь, магний, за счет введения большого объема карбидных, оксидных или боридных фаз можно осуществить, только создавая композиционные материалы, поскольку растворимость углерода, кислорода и азота в расплавах этих металлов (кроме кислорода в меди) является очень низкой. Создание композитов позволяет существенно изменять свойства металлических материалов, например, превзойти удельный модуль упругости 26 Дж/кг, характерный для большинства инженерных материалов. В композитах возможно создание уникальных комбинаций свойств, например низкого теплового расширения в сочетании с высокой теплопроводностью, что очень ценно для элементов электронных схем при их сборке.

В ряде случаев в ММК удается достичь сочетания исключительных свойств. Например, композит с алюминиевой матрицей, пространственно упрочненной волокнами Nextel, имеющий плотность, немного превышающую 3 г/см^3 , обладает пределом прочности при растяжении вдоль волокон 1,5 ГПа, поперек волокон — 200 МПа, пределом прочности при сжатии — 3 ГПа.

К традиционным технологиям получения этих материалов относятся активно развивающаяся в мире как традиционная, так и специальная порошковая металлургия, в том числе жидкофазное спекание, диффузионное связывание, инфильтрация под давлением, литье. Как альтернатива этим технологиям для образования упрочняющих элементов и/или матрицы могут использоваться химические реакции в прекурсорах композитов in-situ.



Рис. 3. Передовая керамика: приоритеты, цели и дизайнерские концепции.

Следует расширить и углубить изучение упрочняющих фаз и механизмов упрочнения ММК. Актуальными являются разработки технологии получения высокопрочной недорогой керамики. В результате этих исследований прочность алюминия, упрочненного волокнами оксида алюминия, за прошедшее десятилетие удалось удвоить.

Важным аспектом продолжают оставаться обработка и сварка ММК для многих применений, а также удлинение сроков службы деталей машин, изготовленных из этих материалов.

В настоящее время большинство работ сосредоточено на композитах с алюминиевой матрицей, но для ряда применений, например в электронике, очень важными являются композиты с медной матрицей.

Передовая керамика (рис. 3), особенно функциональная, в течение нескольких последних десятилетий являлась предметом активного изучения. Исследователей привлекали ее огромные потенциальные возможности, базирующиеся на ее уникальных диэлектрических, ферро-, пьезо- и пирозлектрических, магниторезистивных, ионных, электронных, сверхпроводящих, электрооптических, газочувствительных свойствах.

Проводятся также интенсивные исследования конструкционной керамики. Термическая, химическая и механическая стабильность многих оксидных и не оксидных соединений открывает новые возможности конструирования микроструктуры и контроля над дефектами. Ожидается достижение уникальных прочностных свойств керамических материалов в сочетании с высокой надежностью, что так необходимо для ответственных применений. Кроме того, сочетание термических, изоляционных и механических свойств делает перспективным использование керамики в микроэлектронике и силовых полупроводниковых устройствах. Керамика играет решающую роль в преобразовании энергии, мониторинге окружающей среды, информационных технологиях, авиационной и космической технике, энергетике, транспортных системах, медицине и многих производственных технологиях.

Есть основания предполагать, что различия между функциональной и конструкционной керамикой будут стираться при дальнейшей разработке “умных” материалов, нано- и биокерамики. Новые концепции проектирования материалов, такие как биомимикрия, гиперорганизация, комплексная композиционная архитектура и нанотехнологии, в сочетании с компьютерным моделированием обещают передовой керамике большое будущее. Исследования в области керамики в ближайшем будущем будут направлены на:

разработку научных основ технологических процессов получения и обработки керамических материалов и изделий, их миниатюризацию;

создание новых материалов с высокими характеристиками, которое базируется на управлении структурой на атомном уровне и использовании недорогих, экологически чистых методов синтеза. Ожидается, что новые керамические материалы с непривычными свойствами найдут широкое применение в электронике, фотонике, лазерной и записывающей технике, сонарах, сенсорах, дисплеях, инфракрасных детекторах и т. п.;

создание новых композиционных материалов с керамической матрицей, которое открывает перспективу повышения функциональности и надежности материалов. Такие “умные” комбинации керамики с другими материалами могут иметь свойства, намного превосходящие таковые у существующих ныне материалов, и значительно расширить использование таких композитов как для конструкционных, так и для функциональных применений;

разработку нанотехнологий и миниатюризацию, расширение исследований на мезо- и наноуровнях, которые, как предполагается, приобретут чрезвычайную важность на протяжении ближайшего десятилетия. Ожидается, что уменьшение размера элементов микроструктуры керамики и керамических композитов позволит открыть целый ряд до сих пор неизвестных явлений, которые, в свою очередь, создадут новые области применения материалов (сенсоры, биоматериалы и т. п.);

разработку методов соединения керамики с другими материалами.

Технологии получения керамики, как правило, базируются на методах порошковой металлургии, включающих получение заготовок, их формование и спекание. Кроме того, используются иные методы, например методы химического и физического осаждения, метод выращивания кристаллов или монокристаллов, напыления тонких или толстых пленок и др. Синтез качественных керамических порошков, улучшенный контроль их химических и физических свойств позволяют получать высокие воспроизводимые свойства изделий, например механическую прочность ZrO_2 , равную 1000 МПа.

Одной из определяющих характеристик исходных порошков является размер их частиц. Использование наноразмерных частиц позволяет снизить температуру спекания и приводит к существенному улучшению свойств спеченных изделий. Поэтому необходима разработка технологий производства массивных изделий из нанопорошков. Для получения композиционных материалов с керамической или иной матрицами. Все это требует производства на коммерческом уровне нанопорошков или гомогенных смесей порошков со строго контролируруемыми химическими и физическими (в частности, поверхностными) свойствами.

Достиженные за последнее десятилетие успехи в исследованиях позволили совершить несколько технологических “прорывов”. Так, разработка новых способов формования, например, скоростного тиражирования или направленного литья, позволила сконструировать сложные структуры, обладающие желаемыми свойствами. Методы скоростного тиражирования (стереолитография, трехмерная печать, непрерывная струйная печать, избирательное лазерное спекание и др.) позволяют получать изделия по форме и размерам, близким к окончательным, непосредственно с электронного шаблона. В методе направленного литья использованы физико-химические законы взаимодействия между частицами в суспензиях, приводящего к превращению тонко диспергированной суспензии в связанную заготовку.

В области спекания керамики приоритетным является создание моделей и теоретических представлений для количественного прогнозирования микроструктурной эволюции при спекании (особенно наноразмерных частиц). Крайне важным является формирование микро- и мезоструктуры, а также прецизионное формование очень мелких (миллиметрового масштаба) изделий. При разработке технологий изготовления керамики следует сфокусировать внимание на управлении структурой на всех размерных уровнях, начиная с размеров частиц и заканчивая макроскопическими размерами изделия. Роль такого тотального контроля традиционно недооценивалась, вследствие чего не удавалось существенно улучшить свойства керамических изделий. В этом контексте создание новой керамики следует базировать на новой концепции структурной организации на всех размерных уровнях, контролируя морфологию и распределение различных строительных элементов частиц, волокон, слоев, границ и т. п.

Вопросы поверхностной обработки керамики, включающей осаждение тонких керамических пленок и нанесение толстых керамических покрытий, представляют большой интерес для разработчиков и потребителей керамических материалов. Необходимы фундаментальные исследования механизмов зарождения и роста кристаллов, поверхностной морфологии, распределения напряжений и др.

Расширение производства и применения керамики, очевидно, потребует значительных начальных расходов. Однако преимущества керамических материалов — легкость, высокая жаропрочность, коррозионная стойкость, высокие функциональные характеристики, более продолжительное время эксплуатации, чем у традиционных (иногда даже более дешевых) материалов — в целом дадут существенный экономический эффект.

В настоящее время лидирует в разработке и внедрении керамических технологий Япония.

Особо остановимся на *материалах химического производства*. В 21-м веке химия, подобно биологии, будет одной из областей, которая достигнет высокого уровня развития. В химии твердого тела и в нанохимии уже сегодня успешно применяется молекулярный подход при создании новых материалов. Химики могут сконструировать и изготовить практически любое молекулярное тело — от отдельных молекул до кластеров или даже наноразмерных частиц, нанопластинчатых соединений или нанотрубок.

В течение последнего десятилетия исследования в области химии неорганических материалов были сосредоточены на нескольких группах материалов. Важнейшие открытия касались высокотемпературных сверхпроводников, фуллеренов C_{68} и C_{70} (а также связанного углерода в неорганических фуллеритах), оксидов марганца с гигантским магнитным сопротивлением, мезопористых твердых тел с каталитическими или абсорбционными свойствами. Исследования в области химии неорганических материалов должны концентрироваться на достижении таких целей: разработке методов синтеза новых или улучшения свойств известных соединений; открытии новых фаз с заданными кристаллохимическими свойствами; полном химико-структурном изучении новых фаз.

В области химии твердого тела в ближайшие годы ожидается достижение значительных успехов в таких направлениях, как:

синтез многих органических молекул и их структурных агрегаций; соединение металлокомплексов;

синтез органических или металлоорганических прекурсоров на основе функциональных наноразмерных блоков, ответственных за магнитные, электрические, оптические или каталитические свойства.

Предполагается, что основой для создания новых материалов станет разработка органических блоков и темплетов (поверхностно-активных веществ, полимеров, органических гелеобразователей, многофункциональных органических связующих, биополимеров и др.).

Полимеры находят все большее и большее применение, а химическая промышленность увеличивает объемы их производства. Полимеры используются вместо металлов, стекла, керамики, дерева или бумаги или в комбинации с ними. Потребление полимеров на душу населения в Северной Америке, Европе и Японии за 20 лет с 1980 до 2000 года возросло вдвое: с 43 до 86 кг/чел. Однако, хотя известно большое количество видов полимерных материалов, широко используется всего несколько из них. На рис. 4 представлены приоритеты исследований в области полимеров. Получение однородных полимеров или группы сополимеров, в том числе функциональных, методом управляемой полимеризации за счет свободных радикалов, так называемая “свободнорадикальная полимеризация”, расширяет возможности производства новых мономеров и создания разнообразных материалов. Контролируемая по объему “свободнорадикальная полимеризация” остается главным направлением, на котором следует сконцентрировать усилия исследователей. Сочетание управляемой “свободнорадикальной полимеризации” с полимеризацией в эмульсии (или в другой наноструктурной среде) позволяет получать материалы с управляемыми структурными параметрами при использовании простых водных составов. Перспективы недорогого промышленного производства полимеров открывает возможность при полимеризации под давлением конструировать полиолефины с контролируемым разветвлением либо содержащими определенное количество полярных мономеров. Для этих процессов актуальным является поиск недорогих высокопроизводительных катализаторов.

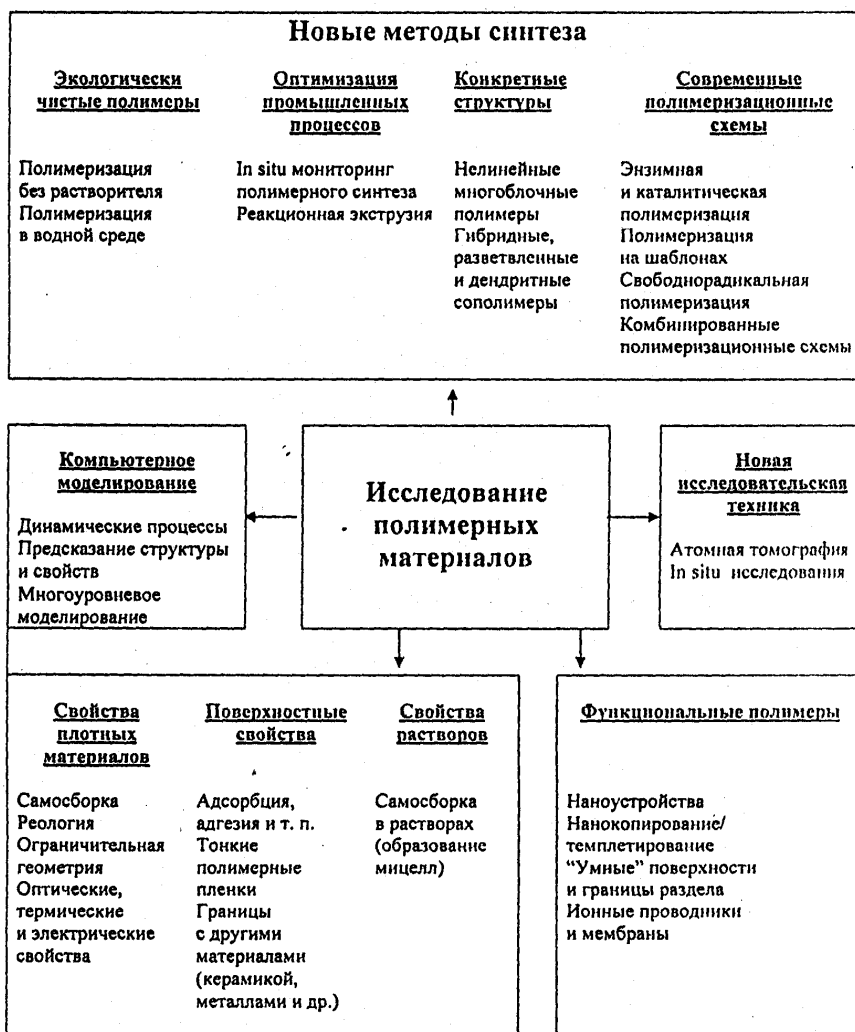


Рис. 4. Приоритетные направления исследования полимерных материалов.

Для синтеза полимеров различных химических модификаций потребуются широкие исследования в области химии расплавов. В этом аспекте перспективным представляется изучение процессов полимеризации в сверхкритическом диоксиде углерода. Особую роль должны играть исследования синтеза полимерных биоматериалов с контролируемыми характеристиками, значение которых будет быстро возрастать.

В области *биоматериалов* приоритными направлениями научных исследований будут:

разработка представлений о фундаментальных механизмах взаимодействия биоматериала с живой клеткой и установление количественных связей между характеристиками поверхности материала и поведением клетки;

разработка "умных" биоматериалов, способных ощущать биореакции и реагировать на них соответствующими биологическими сигналами;

оптимизация систем надежного соединения костей с костными протезами;

оптимизация архитектуры и микроструктуры синтетического каркаса, используемого для трехмерной регенерации живой ткани;

разработка систем, которые облегчают локальную доставку генов к пораженным живым тканям.

Концепции нанотехнологий лежат в основе будущего материаловедения. Уже сейчас есть возможность создания послойных атомных конфигураций, которые, в свою очередь, обеспечат абсолютно новые свойства уже известных материалов. Наноматериалы создаются и используются в разных формах: в виде нанопорошков, коллоидов, тонких пленок и покрытий, мультислоев и структурированных систем от нанолент и точечных наноструктур в полупроводниковых системах до нанопористых фильтров, изготовленных из полимеров. Сегодня уже известно о наноструктуре полупроводниковых, магнитных, сверхпроводящих, органических и даже биологических материалов. Наука о наноматериалах оперирует несколькими основными факторами, которые в совокупности обуславливают новые свойства и области применения этих материалов: масштабным фактором, то есть ограничением размеров объекта; взаимным расположением отдельных элементов наноструктуры; параметрами локального расположения атомов.

Нанотехнологии приведут к революционным изменениям во всех сферах жизни, начиная от производства и медицины и заканчивая компьютерными технологиями и средствами связи. На протяжении следующих нескольких десятилетий ожидается открытие многих новых и «умных» комбинаций материалов, молекул, атомов и ионов с необыкновенными и неожиданными свойствами, которые вызовут к жизни новые области их применения.

Уменьшение размеров зерен до определенной величины приводит к изменению обычного макроскопического поведения материала за счет новых спиновых и зарядовых основных состояний, новой электронной и магнитной поляризационной текстуры, новой динамики поляризационного реверса и переноса заряда. Этим объясняются значительные пограничные эффекты, влияющие на свойства материалов вблизи границ. Эти масштабные эффекты могут довольно точно контролироваться с помощью наномасштабной организации, например, в гибридных материалах свойства могут регулироваться с помощью изменения размеров их составляющих.

Среди приоритетов науки о наноматериалах наиболее важными являются такие:

- разработка технологии получения наночастиц, квантовых структур, самоорганизующихся и нанобиомиметических материалов;

- исследование возможных механизмов, которые приводят к самоорганизующимся наноструктурам;

- изучение возможностей создания наноструктур с использованием наноразмерных органических компонентов и магнитных доменов для устройств с высокой плотностью записи и хранения информации и коммутации с максимальными скоростями, которые потребуются в будущем;

- эспериментальные и теоретические исследования поверхностей раздела ферромагнетиков с полупроводниками и наноструктур, которые сохраняют электронную поляризацию; эти исследования будут способствовать дальнейшему прогрессу в спинотронике.

Такие работы приобретают особое значение для развития электронной техники в связи с тем, что в данное время существующие технологии, основанные на полупроводниковых материалах, достигли своего физического предела. Для преодоления этих барьеров необходимы серьезные, хорошо скоординированные исследовательские программы, основанные на новых идеях. Новые нанотехнологии являются основной частью этой стратегии. Например, наноматериалы открывают путь к новым устройствам для квантовых компьютеров, квантовой электроники, фотоники.



Рис. 5. Приоритетные направления исследований био- и биомиметических материалов на ближайшее десятилетие.

Создание материалов с квантовыми точками и цепочками заданного размера и конфигурации будет одним из приоритетных научных направлений наряду с оптимизацией структуры материалов и функциональных цепей из этих элементов для изготовления полезных устройств. Особое внимание будет уделено комплексным наносистемам, содержащим комбинацию неорганических и органических (или биологических) материалов. Простейшими примерами являются использование ДНК-наборов в качестве темплетов (шаблонов) для “самосборки” биологических молекул, а также отметка биологических молекул неорганическими наночастицами для отслеживания их прохождения сквозь мембраны и клетки.

Ожидается расширение исследований новых материалов в интересах многих отраслей. Отметим, на наш взгляд, наиболее перспективные.

Електроніка, електротехніка і техніка зв'язи зацікавлені в нових матеріалах з удосконаленими електронними, магнітними і оптичними властивостями.

Науковою базою для управління цими властивостями є фундаментальні дослідження електронної природи і закономірностей електронних кореляцій в матеріалах і відповідних структурах. На протязі останніх двадцяти років було відкрито багато нових явищ, таких як квантовий ефект Холла (КЭХ), гігантське магнітне опір (ГМС), високотемпературна сверхпроводимість. Сьогодні ці явища активно використовуються на практиці. Так, на основі КЭХ розроблено новий високопрецизійний стандарт для визначення одиниці опору в системі СІ; на принципі ГМС створено нові считувачі голівки твердих дисків; на основі високотемпературних сверхпроводників розроблено нові сверхпроводячі пристрої.

Дослідження, результати яких будуть перспективними для використання в електроніці, повинні бути зосереджені на органічних напівпровідниках, наноструктурних матеріалах, квантових точках, напівпровідниках систем II-VI і III-V, а також на самоорганізуючихся системах.

Огромні перспективи відкриваються в використанні матеріалів в оптиці (лазерні і комунікаційні пристрої). Створено нові полімери і кераміка з властивостями, необхідними для новітніх оптичних застосувань. Як оцінюють експерти, результати продовжуваних робіт в цьому напрямку вже в найближчому майбутньому приведуть до створення нових комерційних продуктів.

Інтенсивне дослідження магнітних матеріалів почалося з відкриття гігантського магнітосопротивлення, унікальних магнітних властивостей тонких плівок, створення магнітних мультишарів і синтезу наночастиць. Дуже цікаві результати можуть бути отримані при дослідженні магнітних напівпроводників, при розробці методів перпендикулярної магнітної записи, при створенні магнітних записувачів матеріалів, магнітооптичних слонів, спинових затворів і молекулярних магнітів. Ця область матеріалознавства, пов'язана з нанотехнологіями, розвивається в тісному співробітництві експериментаторів і теоретиків на стику декількох наукових дисциплін.

Слід продовжити активні пошуки нових високотемпературних сверхпроводників. Появляються нові перспективи в зв'язі з недавнім відкриттям сверхпроводимості MgB_2 , полімерів і заліза при високому тиску. В області електроніки, магнетизму і сверхпроводимості в найближчому майбутньому будуть актуальні дослідження з метою: оптимізації мікроструктури і підвищення критичної густоти струму; пошуку нових сверхпроводників з низькою анізотропією і високою критичною температурою; розробки і удосконалення технології осадження тонких плівок; детального дослідження матеріалів в мікро- і наномасштабах.

Важливу роль в хімічних технологіях грають процеси каталізу. При розробці *нових каталітичних матеріалів* основними напрямками досліджень будуть вивчення на атомному рівні механізмів селективного окислення, асиметричного і комбінаторного каталізу, каталізу оточуючої середовища.

Експерти вважають цілорозумним для успішного розвитку цих робіт і використання їх результатів на практиці в Європі організацію тісного співробітництва академічних і промислових структур. Для концентрації зусиль і координації робіт в цьому напрямку необхідно створення міждисциплінарного Європейського інституту каталізу.

Актуальной является разработка *материалов для ядерных реакторов*. На протяжении последних тридцати лет разработкам новых материалов для ядерных реакторов не уделялось достаточного внимания, и в ближайшей перспективе именно материаловедческие аспекты ядерной энергетики должны стать предметом активного изучения.

В области *материалов для транспорта* основными направлениями развития являются: разработка методов анализа комплексных систем; создание материалов повышенной надежности и материалов, способных к «самовосстановлению»; разработка легких сплавов; разработка “умных” материалов, обеспечивающих максимальный комфорт для пассажиров.

Большие перспективы для материаловедения открывает возможность *исследования материалов в космосе*. Эти исследования позволяют изучать процессы, которые происходят в условиях микрогравитации. Их проведение является достаточно дорогим, поэтому осуществлять их целесообразно в рамках единой европейской программы.

“Белая книга” не только определяет приоритеты развития европейского материаловедения, но и намечает пути преодоления его отставания по некоторым направлениям от американского и японского.

Этой цели, в частности, будет служить создание сети передовых центров, призванных обеспечить европейское лидерство по избранным исследовательским темам за счет оптимального объединения ресурсов, знаний и опыта (рис. 6). Такое объединение достигается разработкой и выполнением общей программы деятельности, направленной в основном на продолжительную интеграцию исследовательских возможностей участников сети при совместном выполнении исследований по приоритетной для ЕС тематике.

“Белая книга” представляет большой практический интерес и для украинского материаловедения. Как известно, материаловедение в Украине интенсивно развивалось во второй половине 20-го столетия. Украинские материаловедческие центры, такие как Институт электросварки им. Е. О. Патона, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова, завоевали мировую известность своими фундаментальными исследованиями и прикладными разработками в области создания новых материалов. Материаловедение признано в Украине приоритетным направлением развития науки и технологии.

В конце прошлого столетия Координационный совет Украины по приоритетному направлению “Новые вещества и материалы” разработал систему перспективных исследовательских целей (рис. 7).

Сопоставительный анализ этой системы с основными направлениями, намеченными в “Белой книге”, свидетельствует о совпадении основных украинских и европейских приоритетов. Основное внимание в Украине будет уделено исследованиям конструкционных и функциональных металлических, керамических, полимерных, композиционных материалов и материалов с покрытиями. Биоматериалы также выделены в Украине в приоритет на ближайшую перспективу. При детализации целей отмечена необходимость создания материалов с нанокристаллической структурой, а также материалов для эксплуатации в критических условиях при высоких температурах, механических нагрузках, в агрессивных средах и при высоком вакууме. Среди приоритетов в украинском материаловедении названо компьютерное конструирование перспективных материалов.

Как и в Европе, в Украине будут развиваться исследования, направленные на усовершенствование традиционных материалов (это касается в основном

металлов и сплавов, которые и в ближайшем будущем останутся наиболее используемыми конструкционными материалами).

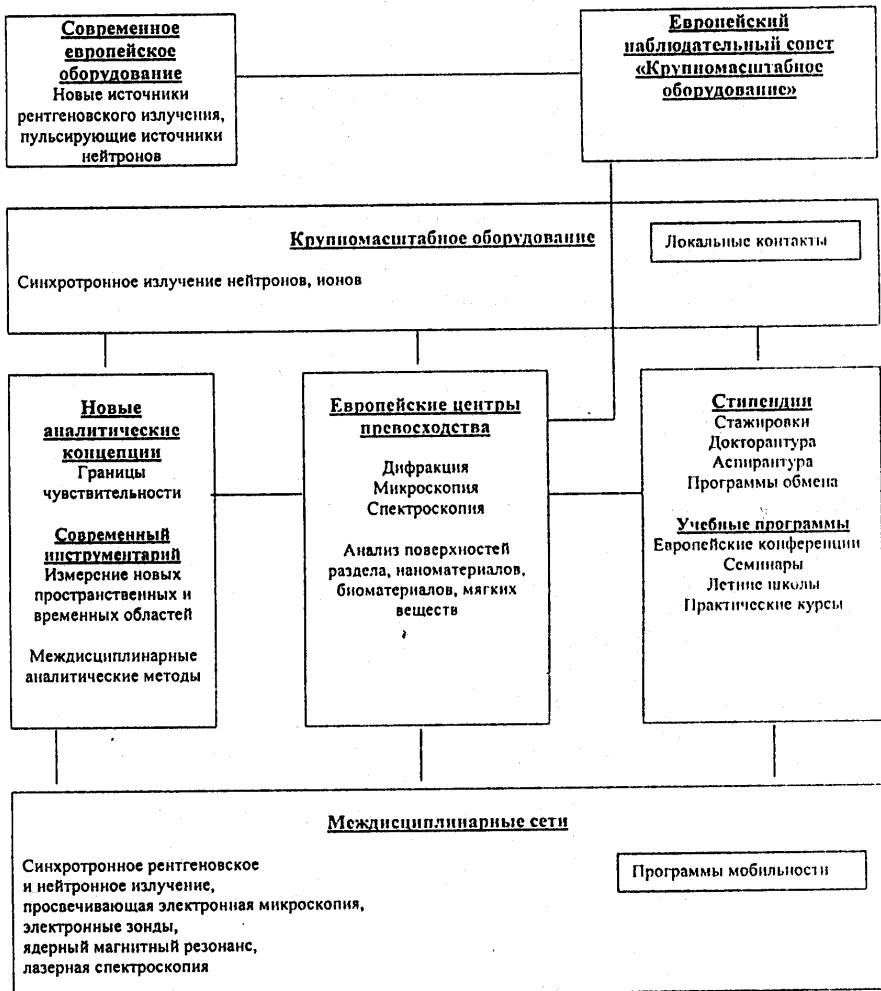


Рис. 6. Европейские планы по использованию передового исследовательского оборудования.

Традиционно в передовых украинских материаловедческих центрах собираны ученые разных научных специальностей и осуществляется междисциплинарный подход при исследовании и разработке новых материалов.

Имеется ряд отличий в приоритетах, названных в европейской “Белой книге” и украинской системе целей. В последней, которая носит явно выраженный прикладной характер, не отражены в полной мере роль и задачи фундаментальных научных исследований для будущего развития материаловедения. На наш взгляд, этот односторонний подход следует изменить при корректировке системы целей украинского материаловедения. Считаем целесообразным также расширить и углубить в Украине тематику исследований биоматериалов, обратив особое внимание на биомиметические материалы, которые названы приоритетом в европейской “Белой книге”.

Кратко изложив основное содержание европейской “Белой книги”, авторы надеются, что эта статья вызовет интерес украинских ученых, работников Министерства образования и науки и Национальной академии наук Украины.

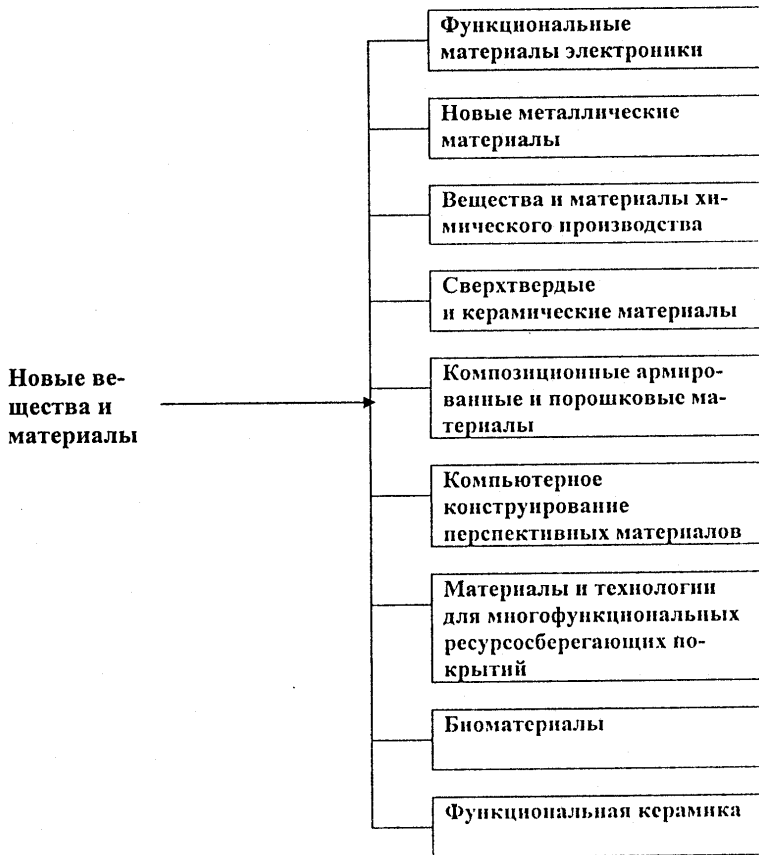


Рис. 7. Система целей приоритетного в Украине научно-технологического направления “Новые вещества и материалы”.

Мы ожидаем также, что эта статья будет способствовать тщательному изучению этого важного европейского документа, который, безусловно, необходимо принимать во внимание при осуществлении мер, направленных на вхождение украинской науки в европейское научное пространство.

Представлены основные приоритеты европейской науки о материалах, изложенные в “Белой книге по материаловедению”, подготовленные ведущими европейскими учеными. Показаны направления исследований металлов и сплавов, передовой керамики, полимеров и композитов на их основе. Приведена система целей научно-технологического развития материаловедения в Украине.

Ключевые слова: приоритеты развития, европейское материаловедение, металлы, сплавы, техническая керамика, полимеры, композиты, научно-технологические цели материаловедения в Украине.

There are main topics of European materials science which published in the “White Book of Materials Science”. This book was prepared by prominent European scientists. The directions of development of metals and alloys, advanced ceramics, polymers and composites on their bases are presented. Also system of scientific and technological materials science topics in Ukraine are shown.

Keywords: priorities of development, European materials science, metals, alloys, advanced ceramics, polymers, composites, scientific technological topics of Ukrainian materials science.