

Краткие сообщения

06;07;12

Оптические свойства жидкого сплава галлий–индий

© Л.А. Акашев, В.И. Кононенко

Институт химии твердого тела УрО РАН,
620219 Екатеринбург, Россия

(Поступило в Редакцию 2 сентября 1997 г.)

Эллипсометрическим методом Битти изучены показатель преломления и коэффициент поглощения жидких галлия и сплава галлий–30 at.% индия в интервале длин волн $0.4\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ при температуре 373 К. По экспериментальным результатам вычислены дисперсионные зависимости световой проводимости и отражательной способности. С использованием результатов измерений в инфракрасной области спектра рассчитаны концентрация электронов проводимости и частота релаксации. Оказалось, что при введении в галлий 30 at.% индия концентрация носителей заряда не изменилась, но существенно увеличивается частота релаксации электронов проводимости, а это приводит к уменьшению электропроводности жидкого сплава.

Сплавы и соединения на основе галлия и индия обладают весьма ценными свойствами. С одной стороны, это полупроводниковые приборы, основанные на соединениях $A^{III}B^V$ и $A^{III}B^{VI}$, сверхпроводники, с другой стороны, теплоносители атомных реакторов, смазочные материалы, высокотемпературные термопары и др. Известна также сравнительно новая область применения сплавов галлия с индием — изготовление низкотемпературных припоев, имеющих большое значение для полупроводниковой техники. Существенное преимущество их заключается в том, что они используются в широком интервале температур и применяются для припайки не только металлических, но и керамических материалов. Информация об оптических свойствах жидких металлов и сплавов имеет большое значение для развития теории жидкометаллических растворов и решения прикладных задач по синтезу веществ с требуемыми свойствами. Сведения об отражательной и поглощательной способностях жидкометаллических растворов являются необходимым справочным материалом в расчетах процессов кристаллизации при учете теплообмена излучением и т. д.

Сведения об излучении оптических свойств жидких сплавов галлий–индий в литературе отсутствуют. В данной работе представлены результаты исследований жидкого сплава галлий–30 at.% индия в спектральной области $0.4\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ при температуре 373 К (температура ликвидуса этого сплава $T_l = 325\ \text{K}$), а также жидкого галлия ($T_{mel} = 303\ \text{K}$). Оптические постоянные измерялись эллипсометрически, методом Битти, на эллипсометре ЛЭФЗМ [1]. Установка, на которой проводились исследования, подробно описана в [2]. Эта установка была усовершенствована: улучшена вакуумная система ($10^{-4}\text{--}10^{-5}\ \text{Pa}$), повышена температура внутри камеры (до 1600 К). Оптические постоянные измеряли при угле падения луча света на образец, равном 82° . Основы метода эллипсометрии изложены в [3,4].

Для исследования использовали металлы: Ga — 000 и In — 000 (содержание основного металла 99.999%). Синтез сплавов проводили в вакууме при давлении $10^{-4}\text{--}10^{-5}\ \text{Pa}$ и температуре 473 К с выдержкой в течение 30 min. Для получения плоской и горизонтальной поверхности расплава использовали молибденовые тигли в форме тарелочки (25–30 mm в диаметре и высотой 5 mm). Угол между стенкой тигля и его дном составлял около 140° , благодаря чему поверхность расплава оставалась практически горизонтальной, несмотря на сравнительно малые размеры тигля.

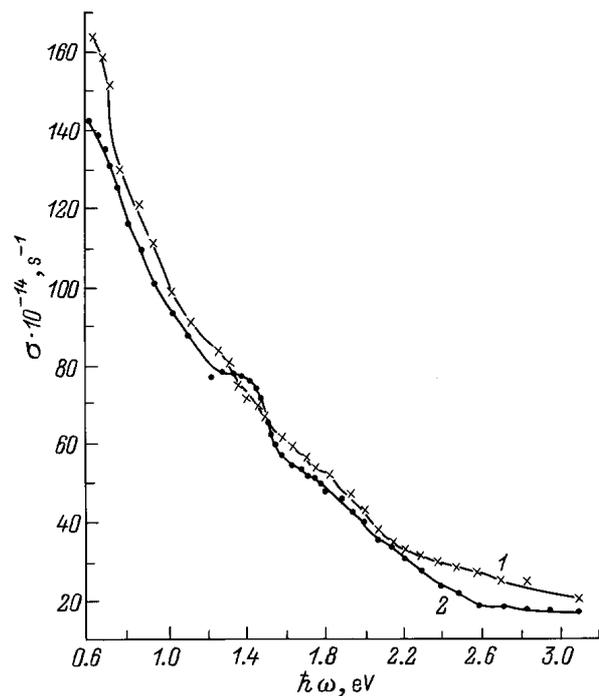


Рис. 1. Зависимости световой проводимости жидких галлия (1) и сплава галлий–30 at.% индия (2) от энергии фотонов.

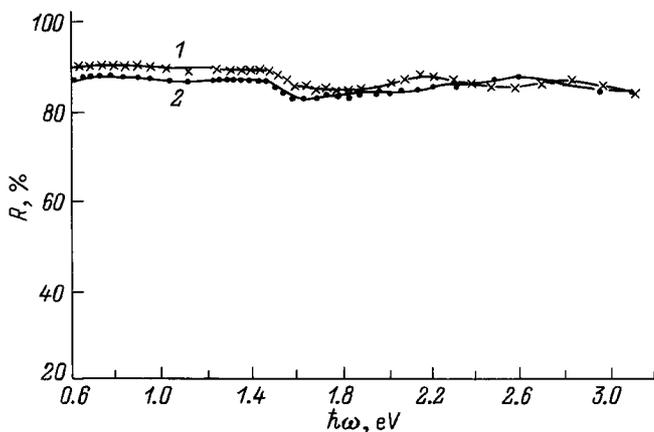


Рис. 2. Дисперсионные зависимости отражательной способности жидких галлия (1) и сплава галлий–30 at.% индия (2).

Методика измерений оптических постоянных жидких металлов описана в работе [2]. Анализ погрешности измерений оптических постоянных исследованных расплавов показал, что она не превышала 5%. В указанной спектральной области (0.40–2.0 μm) по измеренным при температуре 373 К значениям n и k для изученных жидких систем вычислены значения высокочастотной световой проводимости $\sigma(\omega) = nkc/\lambda$ и отражательной способности R .

Число экспериментальных и теоретических исследований в области жидких металлов пока невелико, однако уже надежно установлено, что в определенной спектральной области характер частотной дисперсии оптических коэффициентов ряда жидких металлов поддается объяснению на основе модели почти свободных электронов с применением формул Друде–Зинера. По сравнению с твердыми металлами эта область расширена в сторону видимого спектра [5]. Результаты исследований оптических свойств жидкого индия на четырех длинах волн в интервале 0.37–2.5 μm представлены в работе [6], а в инфракрасной области (до 8 μm) для жидкого галлия проведены Коминсом [7].

На рис. 1 представлена зависимость световой проводимости от энергии фотонов жидких галлия и сплава Ga–30 at.% In. На кривой 1 (рис. 1), соответствующей жидкому галлию, отсутствуют какие-либо аномалии, связанные с межполосными переходами электронов. Оптические свойства жидкого галлия в исследованном интервале энергий фотонов определяются внутриполосными переходами электронов проводимости.

Для жидкого сплава Ga–30 at.% In наблюдается незначительная полоса поглощения в области энергий фотонов от 1.25 до 1.52 eV. Это связано с тем, что при введении в матрицу (атомы галлия) атомов примеси, в данном случае атомов индия, в результате взаимодействия атомов матрицы с атомами примеси появляются дополнительные энергетические уровни электронов, которые образуют дополнительную полосу вблизи уровня Ферми (она обнаружена нами в указанной области энергий).

На рис. 2 представлены дисперсионные зависимости отражательной способности исследованных расплавов. Отражательная способность R изменяется от 83 до 90% для жидкого галлия (рис. 2, кривая 1) и от 83 до 87% для сплава (рис. 2, кривая 2), причем в ближней ИК области спектра отражательная способность R для чистого галлия несколько выше, чем для жидкого сплава Ga–30 at.% In.

Используя измеренные в ИК области величины показателя преломления и коэффициента поглощения изученных расплавов, в модели почти свободных электронов рассчитаны N (концентрация электронов проводимости) и γ (частота релаксации). Концентрация электронов проводимости жидкого галлия оказалась равной $N = 1.28 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$, $\gamma = 1.26 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$. При этом предельное значение световой проводимости $\sigma(0) = Ne^2/m\gamma$, где e — заряд электрона, m — его масса, равно $2.90 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, меньше удельной статической проводимости $\sigma_{st} = 3.76 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, взятой из работы [8]. Это равнозначно большей величине оптической частоты релаксации $\gamma_{opt} > \gamma_{st}$.

Для жидкого сплава Ga–30 at.% In концентрация электронов проводимости равна $N = 1.27 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$, т.е. почти не изменилась при введении в галлий 30 at.% индия, однако частота релаксации значительно увеличилась: $\gamma = 1.78 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$, что привело к уменьшению предельной световой проводимости сплава, равной $\sigma(0) = 2.04 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, которая также меньше удельной статической проводимости сплава $\sigma_{st} = 2.88 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ [8].

Таким образом, введение в галлий 30 at.% In вызывает появление в спектре световой проводимости сплава дополнительной полосы поглощения, концентрация носителей заряда при этом остается постоянной, но существенно увеличивается частота релаксации электронов проводимости, а следовательно, уменьшается электропроводность жидкого сплава.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 95-03-08005а.

Список литературы

- [1] Beattie J.R. // Phil. Mag. 1955 Vol. 46. N 373. P. 235–245.
- [2] Акашев Л.А., Кононенко В.И., Кочедыков В.А. // Расплавы. 1988. Т. 2. № 4. С. 53–57.
- [3] Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 583 с.
- [4] Основы эллипсометрии / Под ред. А.В.Ржанова. Новосибирск: Наука, 1979. 422 с.
- [5] Носков М.М. Оптические и магнетооптические свойства металлов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 225 с.
- [6] Hodgson J.R. // Phil. Mag. 1962. Vol. 7. N 14. P. 229–236.
- [7] Comins N.R. // Phil. Mag. 1972. Vol. 25. P. 817–831.
- [8] Кононенко В.И. Докт. дис. Свердловск: Ин-т химии УНЦ АН СССР, 1972. 332 с.