

В области 2350–2520 с (рис. 8) в результате осаждения из второго испарителя появляется картина, похожая на рис.4. Величина dv/dt изменяется (уменьшается) ступенчато, что связано с фазовыми превращениями в слое Au-GaAs: образование жидкой фазы (Au-Ga-As) + островки чистого золота, что приводит к изменению величины электрического напряжения в плоскости, перпендикулярной к поверхности GaAs и, в результате, к появлению механической деформации и смене ориентации в приповерхностном слое подложки.

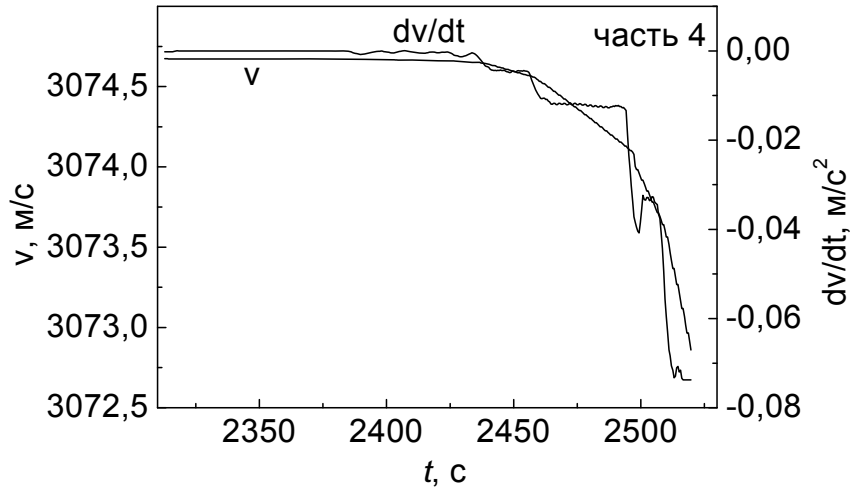


Рис. 8. Зависимости $v(t)$ и $dv/dt(t)$, часть 4 (рис. 2).

При дополнительном осаждении Au в области 2520–2580 с (рис. 9) обнаруживаются осцилляции величины dv/dt . Это стадия вторичного выпадения ориентированных островков GaAs. Осцилляции величины dv/dt в данном случае могут быть связаны с перемещениями ионов, атомов (островков или кластеров) галлия и мышьяка дендритного слоя (на основе раствора Au-Ga) в результате кристаллизации островков чистого золота.

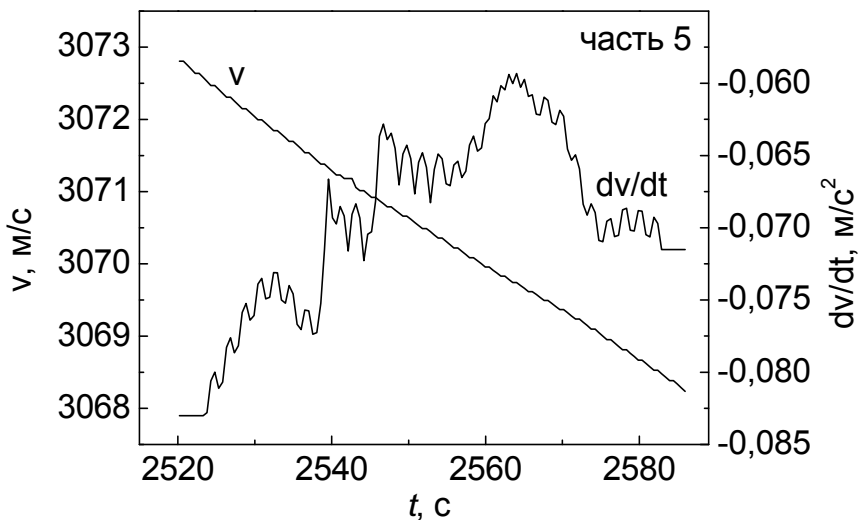


Рис. 9. Зависимости $v(t)$ и $dv/dt(t)$, часть 5 (рис. 2).

Передвижение их происходит по поверхности в направлении к краю островков золота. При этом изменяется давление в направлении параллельном к поверхности

подложки, а электрического поля перпендикулярно к подложке, в итоге меняется ориентация подложки.

В области 2600–2900 с (рис. 10) вследствие дальнейшей кристаллизации золота и сжатия приповерхностного слоя возникают колебания атомов решетки в плоскости (100). В этой области характер колебаний величины dv/dt с увеличением времени осаждения золота меняется, так как при кристаллизации и покрытии поверхности образца слоем металла (кристаллического золота) воздействие разогретого испарителя на поверхность GaAs снижается, в частности, за счет уменьшения таких процессов как:

- 1) влияния избыточных электронов и ионов, осаждаемых на поверхность металла, на величину поверхностного заряда;
- 2) воздействия света разогретого испарителя за счет увеличения отражательной способности;
- 3) увеличение теплопроводности поверхностного слоя.

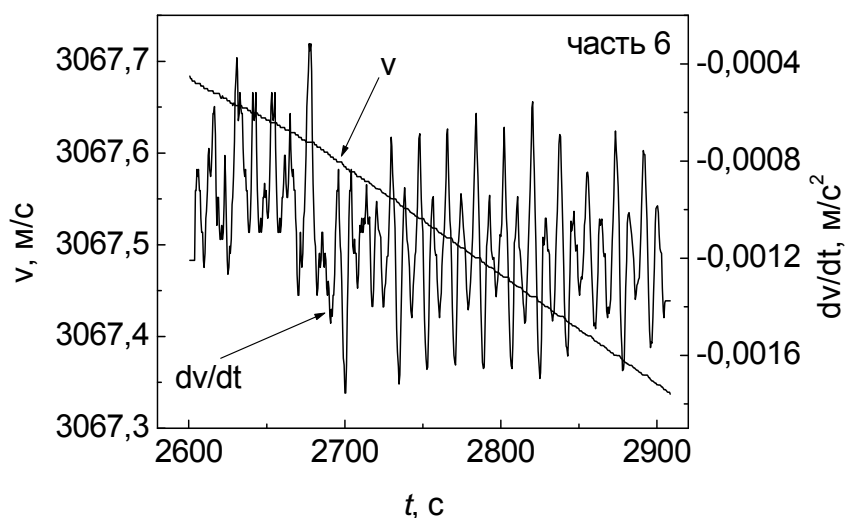


Рис. 10. Зависимости $v(t)$ и $dv/dt(t)$, часть 6 (рис. 2).

При этом временная зависимость колебаний величины dv/dt представляет собой совокупность релаксационных колебаний атомов в плоскостях (100) и (111), задаваемых механическими поворотами плоскостей. Повороты осуществляются ориентационными силами (силами напряжения), стремящимися согласовать решетку выпавших ранее островков GaAs с решеткой базисного арсенида галлия, для уменьшения напряжения. С увеличением времени испарения золота размах амплитуды dv/dt уменьшается.

Фурье-спектры колебаний dv/dt показаны на рис. 11. Как следует из преобразования Фурье выделенных областей (1-6) на кривой зависимости dv/dt от времени осаждения вид спектральных характеристик зависит от физико-химических реакций на поверхности арсенида галлия, и, главным образом, от степени солидификации приповерхностного слоя на основе золота.

В случае формирования кристаллических островков (на стадии формирования твердых растворов) спектральные характеристики колебаний имеют ярко выраженный линейчатый (дискретный) характер: участки 1, 3, релаксация 1, 5, 6.

Особенности колебаний структурных единиц поверхности в этом случае находятся в соответствии с процессами, приводящими к формированию в приповерхностном слое собственной бегущей звуковой волны, имеющей характер резкого кратковременного изменения давления, например, звуковая волна, создаваемая взрывом, искровым разрядом, соударением тел – импульс акустический [12].

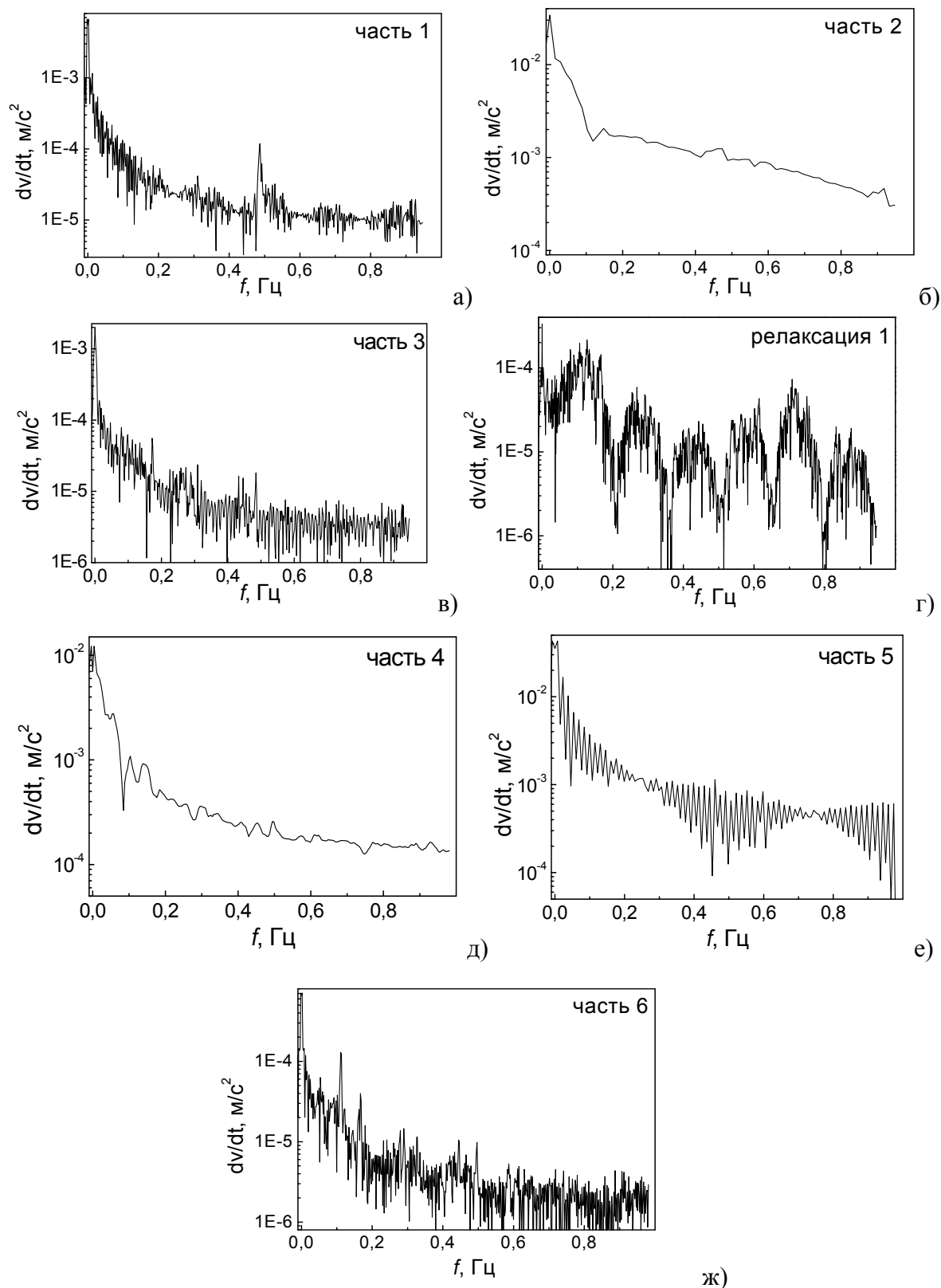


Рис. 11. Фурье-спектр, а) часть 1, б) часть 2, в) часть 3, г) релаксация 1, д) часть 4, е) часть 5, ж) часть 6.

Спектр такого акустического импульса – сплошной с максимумом в области частот, период которых близок к длительности акустического импульса.

Акустическим импульсом также является звуковая волна в виде цуга квазигармонических колебаний, включающего примерно от десяти до нескольких сотен периодов (так называемый заполненный акустический импульс). В случае образования жидкой фазы: участки 2, 4, они представляют собой кривые с непрерывным спектром.

На первом участке (рис. 11а) наряду с цугами спектра колебаний выделяется отдельный сигнал на частоте $f \sim 0.47$ Гц. Этот сигнал по частоте и энергии совпадает с вероятностью межзеренной диффузии в приповерхностном слое [16]. При этом образуются островки (зерна), вытянутые вдоль поверхности GaAs, что объясняется следующим образом. На стадии образования плотного слоя оксида вследствие изменения (увеличения) давления в направлении, перпендикулярном к поверхности GaAs, возникает электрическое поле в направлении параллельном поверхности. В результате формируется дрейф электронов и, как результат, выделяется джоулево тепло. На этой стадии прочность связи диэлектрика с полупроводником в приповерхностной плоскости снижается и создается возможность образования шнурового канала. Шнурование тока сопровождается пробой, как полупроводника, так и диэлектрика. Нагрев в нем приводит к упрочнению, а затем к разрушению материала. При этом в приповерхностном слое арсенида галлия возникают собственные колебания.

На втором участке (рис. 11б) вследствие образования жидкой фазы эти колебания гасятся.

На 3 участке (рис. 11в) после кристаллизации островков чистого золота и давления, направленного вдоль поверхности GaAs, возникает электрическое поле, направленное перпендикулярно к поверхности GaAs. На поверхности нитевидных островков арсенида галлия, вытянутых перпендикулярно поверхности арсенида галлия (рис. 11в) накапливается заряд и происходит разряд с острия. При этом спектр отличается от колебаний на участке 1.

В случае первого отключения (рис. 11г) при релаксации механических и электрических напряжений, энергии и перераспределения электрического заряда испарителя наблюдается спектр колебаний в виде отдельных чередующихся акустических цугов.

На участке 4 (рис. 11д) вследствие формирования жидкой фазы эти колебания гасятся.

На участке 5 (рис. 11е) вид спектральных характеристик приобретает вид последовательных цугов. Это связано с распределением зарядов на нитевидных островках GaAs, отличающихся согласованием с решеткой арсенида галлия и их пробоями.

На участке 6 (рис. 11ж) при покрытии поверхности слоем кристаллического золота вследствие отражательной способности металла и ослабления влияния, осажденных на поверхность заряженных частиц спектральная характеристика колебаний атомов на границе с арсенидом галлия меняется и приобретает вид релаксационных колебаний.

5. Выводы

С помощью измерения изменения скорости ПАВ фиксируются реакции физико-химического взаимодействия в направлении параллельном поверхности, что осуществляется вследствие расположения векторов скорости в волне Рэлея. Особенно информативно оказалось исследование изменения $dv/dt \sim \eta$, где η – вязкость. Построение Фурье-спектра от колебаний dv/dt в зависимости от времени осаждения золота фиксирует особенности фазовых превращений на границе металл-полупроводник, включая такие реакции как микропробой, акустическую и

электронную эмиссию, образование жидкой фазы и выпадение островков GaAs, что позволяет говорить о примененном методе как об акустическом спектральном анализе.

Литература

- [1] T.A. Briantseva, T.J. Bullough, D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, E.M. Tolmachev // *Physica B: Condensed Matter*. **84** (1999) 263.
- [2] D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, T.A. Briantseva // *Appl. Surf. Sci.* **194** (2002) 42.
- [3] D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, T.A. Briantseva // *Appl. Surf. Sci.* **211** (2003) 335.
- [4] Т.А. Брянцева, В.Е.Любченко, Д.В.Любченко, И.А. Марков // *Инженерная физика* **2** (2008) 31.
- [5] Т.А. Брянцева, Д.В. Любченко, И.А. Марков, Е.М. Толмачев // *Неорганические материалы* **45** (2009) 901.
- [6] Т.А. Брянцева, В.Е. Любченко, Д.В. Любченко, И.А. Марков, Е.М. Толмачев // *Радиотехника и электроника* **54** (2009) 621.
- [7] Я.И. Френкель, *Введение в теорию металлов* (Наука, Л., 1972).
- [8] Б.С. Бокштейн, *Диффузионная ползучесть / Диффузия в металлах* (Металлургия, М., 1978).
- [9] А.А. Детлаф, Б.М. Яворский, *Волны в упругой среде* (Высшая школа, М., 1989).
- [10] T.A. Briantseva, I.A. Markov, D.V. Lioubtchenko // *Proceedings of International Conference of Mass and Charge Transport in Inorganic Materials* (Italy, 2000) 477.
- [11] T.A. Bryantseva, D.V. Lioubtchenko, E.O. Yunevitch // *Japan Session Topic: Surface Evolution during Film Growth* Abstract Number: F10-014 (1988).
- [12] С.О. Гладков, *Физика композитов. Термодинамические и диссипативные свойства* (Наука, М., 1999).
- [13] Г. Матаре, *Электроника дефектов в полупроводниках* (Мир, М., 1974).
- [14] T.A. Briantseva, D.V. Lioubtchenko, V.V. Lopatin // *Appl. Surf. Sci.* **100/101** (1996) 169.
- [15] T.A. Briantseva, D.V. Lioubtchenko, V.E. Lyubchenko, S.A. Rostovtseva // *Appl. Surf. Sci.* **161** (2000) 219.
- [16] И. Каур, В. Густ, *Диффузия по границам зерен и фаз* (Машиностроение, М., 1991).

DEVIATION OF THE VELOCITY OF THE SURFACE ACOUSTIC WAVE PROPAGATING ALONG THE SURFACE OF GALLIUM ARSENIDE IN THE PROCESS OF DEPOSITION OF GOLD

T.A. Bryantseva¹, D.V. Lioubtchenko², I.A. Markov¹, Yu.A. Ten¹

¹ Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS (Fryazino Branch), sq. Vvedenskogo.1,
Fryazino, Moscow rgn., 141190, Russia

²Department of Radio Science and Engineering, Aalto University School of Science and Technology, PL 13000,
FI-00076 AALTO, Finland

*e-mail: tatiana@ms.ire.rssi.ru

Abstract. Precipitation of gold by vacuum evaporation creates heterogeneity in the surface layer of GaAs, which differ in structure and composition in a direction parallel to the surface

of gallium arsenide layers in the perpendicular direction. Reactions of physico-chemical interaction in the plane parallel to the GaAs surface are recorded by measuring the velocity of surface acoustic waves by virtue of the location of the velocity vectors in the wave. As it turned out, particularly informative study changes over time derivative of the velocity as a quantity proportional to viscosity. The oscillation spectrum shows the derivative of the velocity characteristics of phase transformations at the metal-semiconductor transition, including such reactions as microbreakdown, liquid phase formation and loss of islets GaAs.

References

- [1] T.A. Briantseva, T.J. Bullough, D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, E.M. Tolmachev // *Physica B: Condensed Matter* **84** (1999) 263.
- [2] D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, T.A. Briantseva // *Appl. Surf. Sci.* **194** (2002) 42.
- [3] D.V. Lioubtchenko, I.A. Markov, T.A. Briantseva // *Appl. Surf. Sci.* **211** (2003) 335.
- [4] T.A. Bryantseva, D.V. Lyubchenko, I.A. Markov // *Engineering Physics* **2** (2008) 31.
- [5] T.A. Bryantseva, D.V. Lyubchenko, I.A. Markov, E.M. Tolmachev // *Inorganic Materials* **45** (2009) 835.
- [6] T.A. Bryantseva, V.E. Lyubchenko, D.V. Lyubchenko, I.A. Markov, E.M. Tolmachev // *Journal of Communications Technology and Electronics.* **54** (2009) 592.
- [7] Ya.I. Frenkel, *Vvedenie v teoriyu metallov* (Nauka, L., 1972).
- [8] B.S. Bokshtein, *Dyffuzionnaya polzuchest / Diffuziya v metallah* (Metallurgiya, M., 1978).
- [9] A.A. Detlaf, B.M. Yavorskiy, *Volny v uprugoy srede* (Vysshaya shkola, M., 1989).
- [10] T.A. Briantseva, I.A. Markov, D.V. Lioubtchenko // *Proceedings of International Conference of Mass and Charge Transport in Inorganic Materials.* (Italy, 2000) 477.
- [11] T.A. Bryantseva, D.V. Lioubtchenko, E.O. Yunevitch // *Japan Session Topic: Surface Evolution during Film Growth* Abstract Number: F10-014 (1988).
- [12] S.O. Gladkov, *Fizika kompozitov. Termodinamicheskie i dissipativnye svoystva* (Nauka, M., 1999).
- [13] Herbert F. Mataré, *Defect Electronics in Semiconductors* (Wiley-Interscience, New York-London-Sydney-Toronto, 1971).
- [14] T.A. Briantseva, D.V. Lioubtchenko, V.V. Lopatin // *Appl. Surf. Sci.* **100/101** (1996) 169.
- [15] T.A. Briantseva, D.V. Lioubtchenko, V.E. Lyubchenko, S.A. Rostovtseva // *Appl. Surf. Sci.* **161** (2000) 219.
- [16] I. Kaur, W. Gus, *Fundamentals of Grain and Interphase Boundary Diffusion* (Ziegler Press, Stuttgart, 1989).