

$$H = \frac{1}{2} (\xi_x)^2 + \frac{1}{2} \frac{(\xi - 1)^2}{[(\xi - 1)^2 - \beta]^2} \left\{ G - (\xi - \xi_0)^2 + 2\beta \left[\frac{\xi_0 - 1}{\xi - 1} + \ln |\xi - 1| \right] \right\}, \quad (7)$$

где $\beta = (k_B T/m) (k/\omega)^2$, k_B — постоянная Больцмана.

Изменяются также выражения для адиабатического инварианта и плотности тока (2), точное вычисление которых затруднительно. Анализ (7) позволяет заключить, что при низких температурах качественный характер решения не изменится по сравнению со случаем $T=0$. Колебания в ВЗП сменяются аperiодическим движением при $\xi_0 - 1 \sim \sqrt{\beta}$, что приводит к оценке критической температуры $k_B T_c \sim e^2 n_0 \lambda^2$.

Выводы

1. Основное состояние одномерной проводящей системы со статической ВЗП характеризуется ненулевым значением плотности тока, пропорциональным амплитуде ВЗП.
 2. Спектр возбуждений одномерной системы вблизи статической ВЗП имеет «звуковой» характер, причем скорость «звука» пропорциональна амплитуде ВЗП.
- Автор благодарит Л. П. Пятаевского за внимание, проявленное к работе.

Список литературы

- [1] *Rise M. J.* // *Solitons and Condensed Matter Physics: Springer Series in Solid State Science.* Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 1978. Vol. 8. P. 246.
- [2] *Зайко Ю. Н.* // *ЖТФ.* 1982. Т. 52. Вып. 12. С. 2429.
- [3] *Заславский Г. М.* *Стохастичность динамических систем.* М.: Наука, 1984.
- [4] *Вхатнагар П.* *Нелинейные волны в одномерных дисперсных системах.* М.: Мир, 1983.

Поступило в Редакцию
26 сентября 1989 г.

АДГЕЗИЯ ПЛЕНОК ЗОЛОТА И НИКЕЛЯ К АРСЕНИДУ ГАЛЛИЯ

*Ю. А. Гольдберг, К. К. Джаманбалин, А. Г. Дмитриев, И. Б. Мазо, Е. А. Поссе,
Б. В. Царенков, М. И. Шульга*

1. Адгезионная прочность соединений металл—полупроводник] существенна для тонкопленочной полупроводниковой электроники. Известно, что адгезионная прочность соединения напыленных в вакууме металлических пленок алюминия с поверхностью кремния около 2×10^6 Н/м² [1, 2], а напыленных в вакууме пленок оксинитрида кремния с антимонидом индия — 0.7×10^6 Н/м² [3].

Цель настоящей работы — определение адгезионной прочности соединений пленок золота и никеля с арсенидом галлия непосредственно после нанесения пленок на поверхность полупроводника и после лазерного отжига предварительно нанесенных пленок.

2. Пленки Au и Ni наносились на поверхность GaAs, ориентированную по плоскости (100), двумя способами: вакуумным напылением при температуре подложки 100 °С и вакууме 10^{-5} мм рт. ст. и химическим осаждением [4] Au из смеси золотохлористоводородной и плавиковой кислот и Ni из раствора сульфата никеля—аммония и сульфата гидразина.

Поверхность кристаллов перед нанесением металлов травилась в смеси $3\text{H}_2\text{SO}_4 + 3\text{HF} + 1\text{H}_2\text{O}$. Кроме того, перед химическим осаждением Au поверхность кристаллов обрабатывалась в растворе хлористого палладия [5] при 90 °С в течение 10 с, а перед осаждением Ni — в концентрированном (25 %) водном растворе аммиака в течение 30 с. Толщина пленок Au была 0.2 мкм, Ni — 0.1 мкм; площадь пленки была меньше поверхности кристаллов и составляла $0.6 - 1.2 \cdot 10^{-1}$ см².

Для лазерного отжига пленок использовался лазер ГОС-301 (длина волны 1.06 мкм); пленки отжигались сериями из 4 импульсов излучения с длительностью импульса 1 мс при энергии в импульсе, приходящейся на единицу площади пленки, равной 3.4 Дж/см².

3. Адгезионная прочность определялась по отрыву пленок от поверхности полупроводника по методике [1]: металлический стержень диаметром 2 мм с гладко отполированным торцом приклеивался к поверхности металлической пленки и затем посредством равномерного наращивания нормального усилия отрывался от пластины вместе с металлической пленкой.

**Адгезионная прочность соединения пленок Au и Ni с GaAs
(усреднение по 10 образцам)**

Металлы	Способ нанесения	Адгезионная прочность, Н/м ²	
		непосредственно после нанесения	после лазерного отжига
Au	Вакуумное напыление	$(1.2 \pm 0.1) \cdot 10^5*$	$(8.1 \pm 0.2) \cdot 10^5*$
	Химическое осаждение	$>(6.4 \pm 0.2) \cdot 10^6**$	$>(8.0 \pm 0.3) \cdot 10^6*$
Ni	Вакуумное напыление	$(1.4 \pm 0.2) \cdot 10^5*$	$(8.7 \pm 0.2) \cdot 10^5*$
	Химическое осаждение	$>(4.3 \pm 0.2) \cdot 10^6**$	$>(5.3 \pm 0.3) \cdot 10^6*$

* При отрыве пленки кристалл не разрушался, ** пленка отрывалась вместе с приповерхностной частью кристалла.

4. Адгезионная прочность соединения пленок Au и Ni с поверхностью GaAs (см. таблицу) для обоих металлов практически одинакова; для химически осажденных пленок по крайней мере на порядок больше, чем для напыленных (определить точное значение адгезионной прочности химически осажденных пленок не удалось, поскольку химически осажденная пленка всегда отрывалась вместе с приповерхностной частью кристалла при усилии $4-10 \cdot 10^6$ Н/м² для разных образцов); после лазерного отжига напыленных пленок возрастает по крайней мере в 5 раз.

Список литературы

- [1] Вавилов В. С., Кив А. Е., Ниязова О. Р. // Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. М.: Наука, 1981. С. 323—325.
- [2] Gazecki J., Sai-Halasz G. A., Elliman R. G. et al. // Appl. Surf. Sci. 1985. Vol. 22/23. P. 1034—1041.
- [3] Дмитриев А. Г., Сокол-Номоконов Э. Н., Джаманбаши К. К., Милорава В. А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1988. № 7. С. 145—146.
- [4] Гольдберг Ю. А., Царенков Б. В. А. С. 392845. БИ. 1975. № 35. 179 с.
- [5] Гольдберг Ю. А., Львова Т. В., Царенков Б. В. А. С. 582710. БИ. 1981. № 11. 266 с.

Ленинградский политехнический институт
Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
7 декабря 1989 г.

К ВОПРОСУ О ПОДОБИИ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

Н. Л. Башлов, Г. Ю. Панасюк, Н. А. Тимофеев

Как известно [1-5], при определенных условиях для положительного столба газового разряда выполняются законы подобия, которые позволяют уменьшить число независимых параметров, определяющих внутренние характеристики плазмы. В общем случае [1-3] законы подобия уменьшают число внешних параметров на один, в частном случае [4, 5] смеси паров металлов с инертными газами, когда потери энергии электронов и ионизация