

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{P_n(t)}{2\pi h} = \frac{\omega}{2\pi\epsilon} \exp(-\epsilon_1/\epsilon). \quad (19)$$

Функция распределения (19), описывающая хаотическое движение, была получена при исследовании процесса наступления хаоса в потоке КЧ с помощью уравнения Фоккера–Планка [5, 6].

Список литературы

- [1] Базылев В. А., Глебов В. И., Головизнин В. В. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. Вып. 1 (7). С. 25–36.
- [2] Andersen J. U., Vonderup E., Lagsgaard E. et al. // Phys. Scr. 1983. Vol. 28. P. 308–330.
- [3] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1974. 752 с.
- [4] Татарский В. И. // УФН. 1983. Т. 139. № 4. С. 587–619.
- [5] Коцеев В. П., Боярко Е. Ю., Веригин А. А. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 22. С. 1361–1363.
- [6] Коцеев В. П., Крючков Ю. Ю., Боярко Е. Ю. и др. // Вопр. атомн. науки и техники. Общая и ядерная физика. 1987. № 1 (37). С. 43–45.
- [7] Scheuter F., Hofmann H. // Nucl. Phys. 1983. Vol. A394. P. 477–500.

Московский институт нефти и газа
им. И. М. Губкина

Поступило в Редакцию
8 февраля 1989 г.
В окончательной редакции
10 июля 1989 г.

05; 07

Журнал технической физики, т. 60, в. 7, 1990

© 1990 г.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОРОГА ПОВРЕЖДЕНИЯ ГЕРМАНИИ И АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. П. Степовик

Явление хрупкого разрушения полупроводниковых кристаллов Si, Ge и InSb при облучении короткими импульсами высокоэнергетичных электронов впервые описано в [1]. В более поздних работах [2, 3] были получены пороговые значения энерговыделений в Si, Ge и GaAs при облучении образцов различной толщины импульсами электронов, а в [4] наблюдали разрушение этих материалов сильноточными пучками ионов.

Один из основных выводов [1–4] состоит в том, что разрушение кристаллов происходит вследствие термоудара. Быстрое выделение энергии приводит к возникновению термоупругих напряжений, вызывающих разрушение облучаемого материала.

Известно [5, 6], что величина максимальных возникающих напряжений зависит от времени выделения энергии в материале. С увеличением длительности облучения будет происходить все большая его разгрузка за время действия излучения и величина энерговыделения за импульс, требуемая для разрушения материала, должна увеличиваться. Целью настоящей работы явилось выяснение влияния длительности облучения на величину энерговыделения в полупроводниковых материалах Ge и GaAs, приводящую к их разрушению.

Образцы Ge имели размер $1.5 \times 1.5 \times 0.16$ мм и конечную обработку плоскостей — либо полировку, либо шлифовку с последующим травлением. Образцы GaAs имели размер $1.5 \times 1.5 \times 0.2$ мм и конечную обработку плоскостей — шлифовку.

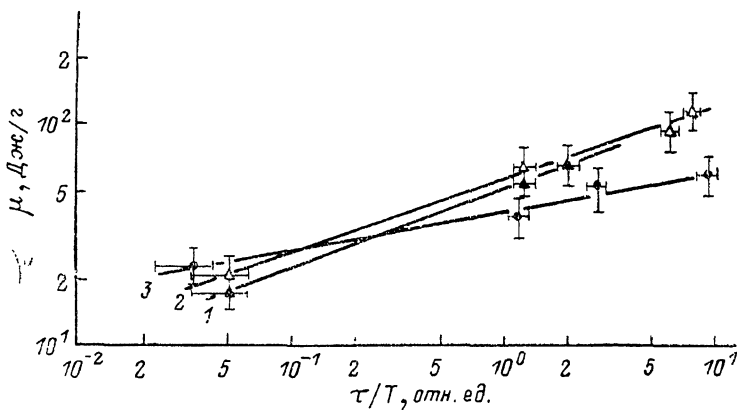
Облучение проводили электронным и рентгеновским излучениями различной длительности. При этом обеспечивали энерговыделение по объему образца, близкое к равномерному. Диапазон изменения отношения τ/T , где τ — длительность импульса излучения, а T — характерное время разгрузки, равное отношению толщины образца к скорости звука, составлял от $\sim 3.5 \cdot 10^{-2}$ до ~ 10 . В каждом опыте одновременно облучали по 100...150 кристаллов при общем их числе около 10 тысяч.

В результате облучения было обнаружено повреждение образцов в зависимости от величины энерговыделения за импульс, которое заключалось в появлении трещин и разделении образцов на 2 и более частей. Заметим, что разделение образцов на 2 и более число частей характеризуется в [1, 2] термином «разрушение». Нами для описания результатов облуче-

ния использован термин «повреждение», который включает в себя как разделение на части, так и появление трещин.

Полученные зависимости вероятности повреждения образцов от величины энерговыделения за время действия излучения описываются нормальным законом распределения. С увеличением длительности излучения величины μ и σ , где μ — среднее значение (математическое ожидание), а σ — дисперсия, растут. Близкий результат получен в [7] при облучении кристаллов KCl. На рисунке приведены зависимости μ (τ/T). Эти зависимости описываются выражением вида $\lg \mu = A + B \lg (\tau/T)$, где A имеет величину 1.14, 1.1, 1.0, а $B = 0.34, 0.37, 0.18$ для Ge, полированного, шлифованного, и GaAs соответственно. Величины A и B получены при обработке данных методом наименьших квадратов.

Как видно из рисунка, увеличение длительности импульса излучения (при равномерном энерговыделении в объеме образца) приводит к увеличению энерговыделения за импульс, требуемого для повреждения образцов. Это следует из того, что μ растет. Как и в [1], ухудшение обработки поверхности образцов приводит к уменьшению величины требуемого для повреждения энерговыделения, что характеризуется уменьшением μ при одной и той же длительности облучения.



Зависимость среднего значения распределения величины энерговыделения μ , требуемого для повреждения Ge и GaAs, от отношения длительности импульса излучения к характерному времени разгрузки образца τ/T .

1 — Ge с конечной обработкой шлифовкой и травлением, 2 — Ge полированный, 3 — GaAs.

Тот факт, что существует разброс величин энерговыделений, требуемых для повреждения отдельных образцов, представляется вполне естественным в рамках рассматриваемого механизма повреждения — термоудара, поскольку возможна различная их динамическая прочность. Кроме того, на величину разброса должна оказывать влияние технология получения образцов столь малых размеров из пластин материалов. Как правило, это скрайбирование, резка струной и т. д. Зарождающиеся при этом дефекты, микротрещины на краях могут привести к различному порогу повреждения отдельных образцов.

Из рисунка видно, что зависимость μ (τ/T) для Ge и GaAs имеет один и тот же вид. Влияние материала или различной конечной обработки плоскостей приводит только к изменению A и B . Отсюда можно предположить, что полученный вид зависимости среднего значения распределения отражает влияние длительности выделения энергии в исследуемом диапазоне величин τ/T на величину разгрузки возникающих механических напряжений в образцах полупроводников при равномерном энерговыделении по объему материала. Это качественно согласуется с результатами [5-7]. Возможно, что подобный вид справедлив и для других материалов.

Список литературы

- [1] Oswald R. B. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1966. Vol. 13. N 6. P. 63—69
- [2] Вайсбурд Д. И., Балычев И. Н. // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. Вып. 9. С. 537—539.
- [3] Балашов А. П., Когай Л. Н., Краеченко И. Я. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 9. С. 1815—1816.
- [4] Воробьев С. А., Лопатин В. С., Погребняк А. Д. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 6. С. 1237—1239.
- [5] Graham R. A., Hutchison R. E. // Appl. Phys. Lett. 1967. Vol. 11. N 2. P. 69—71.

Поступило в Редакцию
27 февраля 1989 г.
В окончательной редакции
6 сентября 1989 г.

05; 06

Журнал технической физики, т. 60, в. 7, 1990

© 1990 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ

Л. В. Луцев, И. Л. Березин, Ю. М. Яковлев

Введение

Замена однослойных ферромагнитных пленочных структур многослойными является эффективным средством изменения дисперсионной кривой магнитостатических волн (МСВ), распространяющихся в этих структурах. Свойства МСВ в многослойных пленках изучались во множестве работ [1-15]. Данная работа посвящена поиску параметров двухслойной пленочной структуры, имеющей наибольшую линейность дисперсионной кривой МСВ. В первой части приведены результаты расчета дисперсионных характеристик и групповых скоростей МСВ, распространяющихся в касательно и перпендикулярно намагниченных пленках на частотах 4.5 и 9 ГГц. Вторая часть посвящена экспериментальной проверке, которая подтверждает теоретические выводы: асимметрию дисперсионных кривых поверхностной МСВ (ПМСВ) в касательно намагниченных двухслойных пленках, максимум групповой скорости и увеличение линейности дисперсионной кривой поверхностной и прямой объемной МСВ (ПОМСВ).

Расчет дисперсионных зависимостей и групповых скоростей МСВ

Расчет дисперсионных зависимостей осуществлялся на ЕС-1035 путем решения системы линейных уравнений, получающихся из уравнения Уокера и граничных условий [16]. Групповые скорости МСВ находились путем численного дифференцирования дисперсионной кривой. Одновременно осуществлялся поиск участка дисперсионной кривой с максимальной линейностью.

При расчете дисперсионных зависимостей МСВ двухслойных пленок введены понятия рабочего и управляющего слоев для поверхностной и прямой объемной МСВ. Рабочим будем

Т а б л и ц а 1

f_0 , ГГц	$4\pi M_{раб}$, Э	Тип волны	$4\pi M_{упр}$, Э (± 5 Э)	$t = d_{упр}/d_{раб}$, (± 0.05)	D , МГц	D_0 , МГц
9.0	1750	ПОМСВ	2200	1.20	478.9	156.1
		ПМСВ	1520	1.60	93.7	32.8
	1050	ПОМСВ	1340	1.10	310.4	101.9
		ПМСВ	960	1.70	34.9	12.2
	600	ПОМСВ	800	1.20	185.1	60.1
		ПМСВ	575	1.40	11.7	3.9
4.5	1750	ПОМСВ	2110	1.20	415.7	135.2
		ПМСВ	1410	1.30	165.2	59.7
	1050	ПОМСВ	1280	1.10	279.1	91.1
		ПМСВ	900	1.40	65.8	23.4
	600	ПОМСВ	770	1.20	172.0	56.1
		ПМСВ	555	1.60	22.7	7.8