日本大学工学部紀要

第 58 巻 第 1 号

平成28年9月

日本大学工学部 工学研究所

目 次

工 学 編

総合教育編

情動認知が人生満足度および感謝心に及ぼす影響		
	浩一	(23)
中学生のボランティア動機づけに及ぼす情動認知の影響		
	浩一	(31)

工 学 編

Summary of Alternating Current Surface Photovoltage Measurements in Silicon Semiconductor Wafers

Hirofumi SHIMIZU* and Toshikazu NISHIDE**

Abstract

Alternating current (AC) surface photovoltage (SPV) measurements have been used successfully for the nondestructive detection of scratches, bulk defects, electrical charges, metallic contaminants on the surface of silicon (Si) wafers used in the semiconductor industry. This report reviews various data from diagnostic point of view in Si surface using scanning photon imaging on the base of AC SPV principle. Moreover, this report describes new idea of metal-induced oxide charge (Q_{mi}) in deliberately contaminated Si wafers in addition to a generally accepted oxide charge model, and then the Q_{mi} behavior was reviewed by frequency-dependent AC SPV method. The origin of fixed oxide charge (Q_r) was also reviewed. The behavior of Schottky barrier type AC SPV and gold nano-cluster were reported in detail.

Key words: silicon surface, alternating current surface photovoltage (AC SPV), scanning photon microscope (SPM), oxide charge, Schottky barrier

1. Introduction

1.1 Objection and scope

Surface photovoltage (SPV) method is a well-established nondestructive (contactless) technique for the characterization of semiconductors, which relies on analyzing illumination-induced changes in the surface potential. Studies of the effects of illumination on the surface voltage had begun in the late 1940s and early 1950s with the classical articles of Nobel prize laureates Brattain and Bardeen.¹⁻³⁾ Consequently, Johnson⁴⁾ has shown that surface photovoltage measurements may yield minority carrier lifetime and Goodman⁵⁾ has developed an algorithm for easy extraction of the minority carrier diffusion length.

The 1990s have seen a renewed vigor in the development of SPV related techniques, Lagowski et al.⁶⁾ have scanned the SPV across an entire silicon (Si) wafer, relating areas of different voltage to areas of heavy metal contamination or to surface defects. Several groups have applied scanning tunneling microscopy^{7,8)} and atomic force microscopy (AFM)⁹⁾ tips for obtaining SPV measurements with a greatly improved lateral resolution. The importance of the surface photovoltaic effect in photoemission measurements has been pointed out, leading to both a renewed interest in SPV and an extensive re-examination of the interpretation of many previous photoemission experiments.

Recently, alternating current (AC) SPV measurements have been successfully used for the nondestructive detection of scratches, crystal defects, electrical charges, metallic contaminants on the surface of Si wafers used in the semiconductor industry.

To scale down microprocessor devices to 22 nm and lower in the submicron regime, we must understand the influence of metals on ultrathin oxides on Si wafers. There have been many researches related to initial oxide growth, and layer-by-layer oxidation on Si surface has recently attracted much attention in regard to forming SiO₂ gate dielectrics. In such thin oxide films, several undesirable impurities such as aluminum (Al), iron (Fe), nickel (Ni), chromium (Cr), gold (Au) and zinc (Zn), affect oxide growth behavior in Si device processing.¹⁰⁾ The more advanced Si manufacturing technology is, the more severe contamination effects become. Ultra-large-scale-integrated (ULSI) Si circuits are particularly vulnerable to detrimental effects of contamination on their performance, due to smaller device geometrics, shallower junctions, decreased gate oxide thickness, and larger chip areas.

So far, conventional capacitance-voltage (C-V) methods have long been used to measure oxide charge using test devices even in drastically miniaturized Si devices. However, quasistatic C-V method has drawbacks in measurements, because the metal electrode might induce an electric field in the oxide layer and thereby transfer some charge to or from the oxide layer. Therefore, AC SPV measurement technique, ^{5, 6, 11-29} which is non-contact and nondestruc-

Received May 2, 2016

^{*} Former Department of Electrical and Electronics Engineering, College of Engineering, Nihon University

^{* *} University Research Center, Nihon University

tive, is more effective for measuring oxide charge on Si wafers, because this technique uses no external electric field. Munakata¹⁷⁾ first summarized the discovery, physics, and historical development of SPV, and suggested a half-sided junction (HSJ) model to explain the occurrence of AC SPV. In 1999, Kronik and Shapira¹⁹⁾ reviewed the current state of SPV based on 780 published studies. Schroder ²⁰⁾ also reviewed surface photovoltage including history, theory and applications.

Progress made in semiconductor characterization has seen the introduction of several new commercially available instruments that use AC SPV for measuring minority carrier lifetime, surface recombination velocity and surface charge. These include the Contamination Monitoring System(CMS-IIIA) by Lagowski and Jastrzebski et al.,^{21, 22, 23} the Surface Charge Analyzer (SCA-2000) by Kamieniecki et al.^{13, 22} and the Surface Charge Profiler (SCP) by Kamieniecki et al.²³ Munakata et al.²⁴ also developed a Scanning Photon Microscope(SPM) that involves a flying spot scanning technique. In SPM, AC SPV is capacitively detected through an air gap between the wafer and an electrode, and the two-dimensional mapping of AC SPV is displayed as a black and white image.²⁵ This SPM allows the evaluation of interface traps ^{25, 26} and bulk defects in processed wafers.^{27–29)} For in-situ monitoring of heavy metal contamination in ULSI manufacturing processes, the AC SPV method is advantageous because the technique is nondestructive and non-contact.

Jastrzebski et al. ²⁹⁾ used an SPV-based CMS III method to measure minority carrier diffusion length. They monitored Fe concentration on the surface and in the bulk of Si wafers and also surface contamination from Cu in device processing. Where temperatures are above 200 °C and with boron concentration $[B] > 10^{16} cm^{-3}$, the Fe is bound in Fe-boron(B) pairs with most of the Fe in interstitial sites. Using these facts, Zoth and Bergholz ³⁰⁾ achieved a complete quantification of the Fe concentration using deep level transient spectroscopy (DLTS). These results relate to the behavior of impurities in the bulk Si. In contrast to these results, Munakata et al. ^{14, 15)} have analyzed AC SPV using the HSJ model, determining the interface trap density (D_{it}) and the density of positive fixed oxide charge (Q_{f}) in thermally oxidized p-type Si wafers.

This report focuses on previous results related to the evaluation by the using AC SPV technique, namely, the results obtained by the SPM (frequency; 2 kHz) and frequency-dependent AC SPV method. The authors also provide a historical explanation of how the AC SPV method has been used to discover negative and/or positive oxide charge (Q_{mi}) generation by incorporating trivalent and pentavalent atoms into SiO₂ film layer. Furthermore, detailed analyses due to frequency-dependent AC SPV are reviewed. On the other hand, an occurrence of a Schottky barrier type AC SPV and the behavior of Au nanocluster are summarized.

1.2 Negative oxide charge and/or positive oxide charge induced by trivalent and/or pentavalent atoms in SiO₂

Historically, before 1987, wafers were treated with a modified Radio Coporation of America (RCA) alkaline solution (standard clean (SC)-1; ammonium hydroxide/hydrogen peroxide/water)³¹⁾ in *Pyrex* glass containers containing high concentrations of Al. Using the HSJ model of Munakata et al.¹⁴⁻¹⁶⁾ to analyze the results, Shimizu et al.³⁵⁾ measured a fairly large negative charge of 0.93 mC/m^2 in the native oxide of n-type Si wafers treated by an SC-1 solution in *Pyrex* glass containers.³⁶⁾ Munakata and Shimizu ^{32-34,37,38)} showed that the negative charge species was Al that had dissolved into the solution from the *Pyrex* glass container, ³⁶⁾ resulting in incorporation of Al into the native oxide. According to the frequency-dependent of AC SPV, approximately 4 % of the Al contaminants contribute to the negative charge.³⁹⁾ To minimize this charge, *Pyrex* glass containers have been replaced by quartz glass in wafer manufacturing.

As proposed in silica chemistry by Iler³⁹⁾ and Eisenman,⁴⁰⁾ if a trivalent Al ion, Al³⁺, replaces a quadrivalent Si ion, Si⁴⁺, in silica, then AlO₂ might be partially formed, giving rise to negative charge³⁸⁾ in the form of (AlOSi)⁻³⁹⁾ or (SiAlO₄).⁻⁴⁰⁾ When a trivalent Fe ion, Fe³⁺, is incorporated into a native oxide in a similar way, a negative charge also appears.⁴¹⁾ The Fe³⁺ should form a (FeOSi)⁻ network⁴¹⁾ and might act as a negative charge in the oxide by the same mechanism seen for Al. On the other hand, if a pentavalent P ion, P⁵⁺, replaces the Si⁴⁺ ion in the native oxide, then a positive charge might appear on the surface of the wafer due to the formation of a (POSi)⁺ network. Modeling studies show that P⁵⁺ creates such a positive charge in the native oxide.⁴²⁾ The effect of other impurities on the appearance of charge has also been investigated, showing that impurities of Ni, Cr, and Zn have little effect on this.³⁸⁾ Based on these charging effects, both the negative and positive oxide charge was postulated to be metal-induced oxide charge (Q_{mi}).^{44,45)}

1.3 Schottky barrier type AC SPV

Upon rinsing n-type Si(001) wafers into Cr- and Au-aqueous solution, Schottky barrier type AC SPV has been generated by the deposition of Cr and/or Au on the Si surface. The occurrence of AC SPV differs fundamentally from that originally described as $Q_{mi}^{44,45}$ shown by (AlOSi)⁻ networks and/or AlO₂⁻ in n-type Si.³⁸⁾ Moreover, in thermally oxidized Cr-contaminated n-type Si(001) wafers, Schottky barrier collapsed and a transfer from Schottky barrier type AC SPV to the Q_{mi} type AC SPV was found. When n-type Si(001) wafers were rinsed in Au aqueous solution at room temperature, Au was deposited on the Si surface in the form of a nanometer size Au protuberance. Upon thermal oxidation at high temperatures, a Au protuberance still survived as a nanocluster at the Au/n-Si interface, enhancing SiO₂ film layer by the catalytic action of Au. The review of these results is described in section 3.6 and 3.7.

1.4 Positive charge generation in hydrofluoric acid dipped p-type Si wafers

In contrast to the above-mentioned charge-induction mechanism, Shimizu and Munakata⁴³⁾ have reported another mechanism in which a positive charge appears shortly after hydrofluoric acid (HF) treatment of the Si wafer (surfaces become hydrophobic and hydrogen-terminated).⁴⁶⁻⁴⁸⁾ The positive charge decreases stepwise with increasing time of exposure to air at room temperature $(25 \pm 2 \text{ C})$ as the native oxide grows layer-by-layer.⁴⁹⁻⁶⁰⁾ This decrease might be due to neutralization of the positive charge by an as yet unknown species and/or by combination with oxygen. The positive charge generation might be caused by dangling bonds on the Si surface created by tilting the cut surface by 4 degrees from the (001) plane.

The charge induction mechanism on HF-dipped surfaces might differ from that of P in the native oxide. Some researchers have reported that HF-dipped surfaces are hydrogen terminated. ⁴⁶⁻⁴⁸⁾ The effect of hydrogen on the AC SPV has not yet been clarified. However, if some unpaired Si dangling bonds remain on the HF-dipped surface, the dangling bonds (ionized Si) might act as positive charge. If such ionized Si captures an oxygen atom, it loses positive charge by emitting a hole or by capturing an electron. ⁴³⁾ Therefore, the disappearance of positive charge could be explained by the stepwise growth of the native oxide. However, more detailed analysis is required before a definitive model of the appearance of positive charge on HF-dipped surfaces can be developed. ^{61, 63)}

1.5 $Q_{\rm f}$ in n-type Si wafers based on the existence of $Q_{\rm mi}$

Historically, a positive charge called Q_f reportedly appears in thermally grown oxide on p-type Si wafers. The origin of the charge is considered to be dangling bonds of Si atoms located at the interface between the SiO₂ layer and the p-type Si surface. Q_f should also appear at the interface between the SiO₂ layer and the p-type Si surface. Q_f should also in n-type Si wafers because similar dangling bonds must also appear at the surface. However, explicit evidence for negative charge in n-type Si has been reported. ^{32, 33, 34)}

Munakata et al.²⁵⁾ has investigated the oxide trapped charge (Q_{ot}) , Q_{it} and also the origin of Q_f in n-type Si. Munakata and Shimizu¹²⁰⁾ analyzed the charge inequality by considering Q_{it} and Q_{ot} , and based on their results, it was concluded that $Q_f(n) + Q_{it} + Q_{ot} < 0$, where $Q_f(n)$ means Q_f in the oxidized n-type wafer.¹²⁰⁾ Q_{it} is negative and fairly small. As the oxide thickness decreased, the AC SPV in the p-type wafer slightly decreased compared with the maximum value, indicating that positive Q_{ot} might have been etched off. Therefore, the net oxide charge must be determined by $Q_f(n)$ and Q_{it} being negative in this case. In n-type Si wafers, abundant majority carriers, electrons in this case, could be easily trapped by the positive oxide charge and, as a result, neutralize $Q_f(n)$.¹²⁰⁾ For the n-type wafer, a small peak in the AC SPV appeared when the oxide surface was close to the crystal surface, whereas for the p-type sample, a small dip appeared as shown in experimental results (see section 3.9).¹²⁰⁾ In those results, the observed small peak and dip imply that the negative charge was somewhere in the oxide layer. Because the interface traps due to strain in the thin oxide layer increase as the oxide thickness decreases, the most probable charge must be Q_{it} , which is located at the SiO₂-Si interface. This speculation will be endorsed by the experimental results in section 3.9.

1.6 Review of negative oxide charge in thermal SiO₂ film layer detected by AC SPV

Some researchers ${}^{63-66)}$ have investigated the appearance of negative charge due to Al, Fe in thermal SiO₂ film layer. As mentioned above, Shimizu and Munakata ${}^{63)}$ first reported the existence of Al-induced negative charge in SiO₂ film layer. Based on SCA measurements, Kato and Maruo ${}^{64)}$ have shown that Al and Fe induce negative charge in thermal oxide. On the basis of C - V measurements, Itoga et al. ${}^{66)}$ have also reported the induction of negative charge and an increase in D_{it} at the Si mid gap after Al contamination and oxidation. After thermal oxidation of

Al- or Fe-contaminated Si wafers rinsed in an SC-1 solution, the contaminants (Al- and/or Fe rich layer) are left behind in the topmost layer of oxide, $^{67.68)}$ This is because the diffusivity of Al and Fe in SiO₂ is much less than oxygen. ⁶⁹⁾ Thus, Al and Fe reportedly segregate into the uppermost part of the thermal oxide layer, away from the SiO₂-Si interface and survive as a negative charge even after thermal oxidation at around 1000 °C.⁶⁸⁾

2. Principles and techniques of AC SPV and experimental procedures

2.1 HSJ model on the basis of the frequency-dependent AC SPV method

The AC SPV measurement relies on the change in the surface potential of a semiconductor when that semiconductor is illuminated with a photon beam (PB).^{4, 5, 6, 11-23)} When n- or p-type Si is strongly inverted (Q_{mi} : negative charge on n-type Si or positive charge on p-type Si), the observed AC SPV is proportional to 1/f (f: frequency).^{14,15)} The AC SPV in the weak inversion and/or depletion is independent of frequencies lower than, for example, approximately 100 Hz. At higher frequencies, on the other hand, the AC SPV shows a tendency to be limited by the depletion layer capacitance, thereby, it is proportional to 1/f. In the accumulation state, the overall AC SPV is too small to be detected.¹⁶⁾ A Schottky barrier has also been reported to cause AC SPV.⁶⁴⁻⁶⁷⁾

In the HSJ model $^{\rm 14,\,15)}~$ the AC SPV $(V_{\rm ph})$ is given by the following equation.

$$V_{ph} = J_{ph} \cdot Z_{sf} = \frac{J_{ph}}{g_s + j\omega C_{dp}} \tag{1}$$

where $Z_{\rm sf}$ is the surface impedance, $g_{\rm s}$ is the surface conductance, ω is the angular frequency $(2\pi f)$, and $C_{\rm dp}$ is the depletion layer capacitance. $J_{\rm ph}$ is the photocurrent and is given by the following equation. ⁶⁾

$$J_{ph} = q\Phi(1-\Theta)\gamma\tag{2}$$

where Φ is the photocurrent density, Θ is the Si wafer optical reflectance coefficient and γ is the photocurrent coefficient. When the surface potential (u_s) is less than the Fermi potential (u_F) , the conductance is dominated by majority carrier conduction (g_{mj}) , resulting in an AC SPV value of approximately J_{ph}/g_{mj} as shown in equation (3).

$$V_{ph} = J_{ph} \cdot Z_{sf} \approx \frac{J_{ph}}{g_{mj} + j\varpi C_{dp}} \approx \frac{J_{ph}}{g_{mj}}$$
(3)

In contrast, when $u_s > u_F$ (strong inversion), the depletion capacitance is dominant and the surface impedance Z_{sf} is proportional to $1/\omega C_{dp}$

$$V_{ph} = J_{ph} \cdot Z_{sf} \approx \frac{J_{ph}}{g_{mj} + j \,\omega \,C_{dp}} \approx \frac{J_{ph}}{j \,\omega \,C_{dp}}$$
(4)

The capacitance in strong inversion is determined by the saturated depletion width given by $C_{dp} = \varepsilon_{Si}/w$ (in strong inversion, w is depletion layer width and saturated and constant). Therefore, in strong inversion state, the AC SPV is proportional to 1/f.¹⁴⁾

2.2 SPM and frequency-dependent AC SPV techniques to identify the polarity of the oxide charge

Figure 1 shows a schematic of how an AC SPV might be generated in the depletion/inversion regions of n- and ptype Si wafers.¹⁴⁻¹⁶⁾ The AC SPV occurs when a depletion or inversion layer is formed near the wafer surface. Such a layer is caused by a charge-induced surface potential due to either the positive charge in p-type Si or the negative charge in n-type Si. In this study, we evaluated interface traps and bulk defects in processed wafers by using the SPM method developed by Munakata et al.^{24, 25)} The SPM method can visually evaluate charged states, chemical contaminants, surface imperfections and bulk defects.²⁶⁻²⁸⁾ By evaluating charged states and surface imperfections, a blue photon beam (PB) with a wavelength peak at 448 nm was used. For bulk defects, a probing PB (near infrared) with wavelength of 896 and 1076 nm was used. As an optical power was of the order of microwatts, a negligible electric field is applied to the oxide, and thus no charge is eliminated or created in the oxide. In the AC SPV measurements using SPM, the diameter of the PB in the focal plane was 0.4 mm and the chopping frequency was set to 2 kHz. The penetration depth was about $0.4 \,\mu$ m (wavelength peak at 448 nm), and the incident power in the beam was 4μ W.

For frequency-dependent AC SPV measurements, an instrument using blue PB (wavelength; 470 nm) was devel-

oped in-house by Shimizu and coworkers.⁷⁰⁾



Fig. 1. Generation of an AC SPV in the depletion/inversion layers and accumulation regions in n- and p-type Si wafers.

2.3 Identification of oxide charges caused by intentional impurity contamination to Si surface on the basis of the AC SPV method

In device processes, contamination by detrimental impurities is unavoidable because Al and Fe easily adhere to the surface of Si wafers after rinsing in SC-1, even if only a small amount of impurity is in the SC-1 solution. Cu, Cr^{71} and Au⁷²⁻⁷⁵⁾ adhere to bare Si surfaces rinsed in HF solutions because of a more favorable oxidation reduction potential. Several physical and chemical methods to analyze low levels of contamination have been used to clarify the gate oxide failure mechanism related to impurities. One method is inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) with a double-focusing magnetic sector mass analyzer.⁷⁶⁻⁷⁸⁾ However, this type of instrument puts stringent demands on the sampling method, in which specific elements need to be extracted in a clean environment. Other methods successful in detecting metallic contaminants on Si wafers are the vapor phase dissolution (VPD) method combined with atomic absorption spectroscopy (AAS),⁷⁹⁾ and ICP-MS and total reflection X-ray fluorescence (TRXF).⁸⁰⁾

In contrast to these physical and chemical methods, intentional contamination methods have been used to simulate the effects of metal impurities on the electrical characteristics of devices. One such method uses different concentrations of contaminated aqueous solution spin coated on to the surfaces of Si wafers.⁷⁴⁾ In another method, Si wafers are rinsed in SC-1, where particular elements have been intentionally added to the solution.^{81–84)} For contamination, standard solutions such as $Al(NO_3)_3$, $Fe(NO_3)_3$, $Zn(NO_2)_2$, $Cr(NO_3)_3$, $Au(HCl)_3$, and $Ni(NO_2)_2$ have been used. Before contamination, in order to eliminate undesirable metal impurities, RCA acid solution (standard clean SC-2; hydrochloric acid/hydrogen peroxide/water)²⁴⁾ has also been employed.

Results and discussions

3.1 Nondestructive evaluation for surface scratches and contaminants in Si wafers using SPM

Historically, an application of AC SPV was focused on to nondestructively evaluate Si wafer surfaces for electrical devices by the instrument of SPM. Based on Sect. 2.2, the SPM can nondestructively detect surface scratches, ion contaminants and furthermore crystal defects (bulk defects).

Figure 2 illustrates a scanning photon image of the n-type Si wafer with scratches caused by mirror polishing when small fragments or grown silica slurry particles exist between the polished wafer surface and the polishing cloth. ²⁶⁾ In the figure, the darker lines are traces of the scratches in the wafer and they correspond to the low AC SPV where the trap density may be high. According to the frequency dependence of AC SPV, wafers with less mechanical damage give lower densities of the interface trap.

Figure 3 (a) and 3 (b) show a scanning photon image of the wafer contaminated with the SO_4^{2-} and its sche-

matically drawn picture.²⁶⁾ The wafer cleaned by the ammonium hydroxide/hydrogen peroxide solution was kept in the wafer cassette for about 1 h so that it was contaminated with the sulfuric ammonia floating in the room surrounding where the concentration of the SO_4^{2-} was determined to be about 10 ng/L. The dark lines and spots in the picture show low AC SPV areas where the concentration of the SO_4^{2-} is high.²⁶⁾

Figure 4 plots the AC SPV versus the amount of the SO_4^{2-} , indicating that the AC SPV decreases in proportion to the total amount of SO_4^{2-} on the wafers which increases the density of the interface trap. Based on the combination of the AC SPV and chemical analysis, these results imply that the SPM is able to evaluate impurity concentration on wafer surfaces in a nondestructive and noncontact manner.²⁶⁾

Historically, an online inspection to decide p- and/or n-type wafer fabrication was conventionally performed by contact type instrument using Cu probe. This inspection frequently contaminated wafer edge, degrading minority carrier lifetime upon following oxidation process. Figure 5 shows scanning photon images of the oxidized p-type Si wafers, which were slightly scrubbed at the wafer edges with (a) stainless steel, (b) Cu, (c) Ni, and (d) Al, prior to the oxidation.⁸⁵⁾ Metal impurities in the Si bulk create recombination centers for excess carriers, thereby reducing the AC SPV. This result obtained by the SPM triggered to replace the former conventional type with noncontact type instrument.

In a similar way, the SPM revealed ring-shaped oxidation stacking fault (R-OSF) in the Si bulk with a near infrared PB (wavelength peak at 896 and 1076 nm) as shown in Fig. 6. ^{27, 28)} The micrograph of double ring-shaped stacking fault was analyzed on the basis of X-ray diffraction and lifetime measurements below. The R-OSF was originally created upon enlargement of Si wafer with the aim of cost reduction of electrical devices and Hasebe et al ⁸⁶⁾ first reported the occurrence of the R-OSF in Czochralskigrown (CZ) Si crystals. The R-OSF essentially grows by the balance between frozen-in vacancy and excess interstitial Si atoms during CZ-Si crystal growth. In Fig. 7, the same wafer was photographed by X-ray diffraction method.²⁸⁾ The white ring in Fig. 6 corresponded to the region of longer minority carrier lifetime and black ring to that revealed by X-ray diffraction, as shown in Fig. 8. $^{\rm 28)}$ These results were applications of the SPM for nondestructive diagnostic use for device-oriented Si wafers.



Fig. 2 . An AC SPV image for the n-type $\rm Si\,(001)$ wafer with scratches (blue PB excitation) .





Fig. 3. An AC SPV image and its schematically drawn picture for the n-type Si(001) wafer contaminated with SO_4^{2-} (blue PB excitation).



Fig. 4. Relationship between the AC SPV and the total amount of SO_4^{2-} cumulated on the n-type Si(001) wafers (blue PB excitation).



Fig. 5. Scanning photon images obtained for p-type Si (001) wafers intentionally contaminated and oxidized; (a) stainless steel, (b) copper, (c) nickel, and (d) aluminum (near infrared PB excitation).



Fig. 7. Ring-shaped oxidation stacking fault revealed in the thermally oxidized n-type ${\rm Si\,}(001)$ wafer obtained by X-ray technique.



Fig. 6. Photovoltaic image of double ring-shaped oxidation stacking fault of the n-type Si (001) wafer thermally oxidized by the SPM using a near-infrared PB.



Fig. 8. Comparison of minority carrier lifetime with photovoltage image, X-ray topograph and interstitial oxygen concentration.

3.2 Discovery of metal-induced negative oxide charge in SiO₂ by SPM technique

Originally, Iler³⁹⁾ and Eisenman⁴⁰⁾ proposed a model, if a trivalent Al ion, Al³⁺, replaces the quadrivalent Si ion, Si⁴⁺, in silica, AlO₂ is partially formed, resulting in a negative charge in the form of $(AlOSi)^-$ or $(SiAlO_4)^-$. Munakata and Shimizu³²⁻³⁴⁾ first reported an increase in the AC SPV of n-type Si wafers treated with Al-contaminated solutions using the SPM. They firstly reported that the AC SPV is proportional to the concentration of Al in the native oxide, indicating that Al is one of the species that induces negative charge in the form of $(AlOSi)^-$ network.^{33,38)} In contrast, no AC SPV appeared for Al-contaminated p-type Si wafers, because the negative charge in p-type Si causes accumulation, resulting in an AC SPV below the detection limit of this method.³⁴⁾

In Fig. 9, the variation of AC SPV with the exposure time to air for n-type Si (001) wafers rinsed in metal-contaminated $(10 \,\mu \text{g/mL})$ solutions is shown.³⁸⁾ The resistivity of the wafers used in this experiment was $10 \pm 0.5 \,\Omega \cdot \text{cm}$. The observed AC SPV was measured by the SPM (frequency; 2 kHz). Figure 9 shows that the AC SPV of Fe-contaminated n-type wafers (square symbols) increases with increasing exposure time to air, similar to the trend seen for Alcontaminated wafers.³⁸⁾ Fe is incorporated in the native oxide using an Fe-contaminated SC-1 solution just as with Al.⁴¹⁾ When the Fe-contaminated native oxide was removed by HF dipping, the AC SPV vanishes, similar to the trend seen for Al-contaminated wafers, indicating that the negative charge had been removed. The saturation level for the AC SPV of Fe-contaminated wafers was lower than that for Al-contaminated wafers, meaning that the number of negative charge species [the (FeOSi)⁻ network, described later] was fewer, possibly because the concentration of Fe $(4.6 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^2)$ was lower than that of Al $(1.05 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^2)$.³⁸⁾ On the other hand, the AC SPV for wafers rinsed in Ni- and Zn-contaminated solutions was the same as that for wafers rinsed in clean (no contaminants intentionally added) RCA solution. This implies that these impurities might create neither negative nor positive charge species, or that the net charge does not change because of a compensation effect due to charges trapped in the growing interface traps. Moreover, deliberately added metal concentrations on the surfaces were analyzed by using a combination of a pack extraction method (PEM)⁸⁷⁾ and ion chromatography or ICP-MS developed by Ishiwari and coworkers.⁸⁷⁻⁸⁹⁾

As described in the previous section, trivalent Al (Al³⁺) and Fe (Fe³⁺) ions act as negative charge in native oxide, whereas pentavalent P ions (P⁵⁺) act as positive charge. Based on these results, the authors proposed the following mechanism (Fig. 10) by which trivalent and pentavalent atoms induce charge in the native oxide on Si.³³ The basic structural unit of SiO₂ is a Si atom surrounded tetrahedrally by four oxygen atoms. These tetrahedra are joined at their corners by oxygen bridges, forming a quartz network. When Al³⁺ or Fe³⁺ replaces Si⁴⁺, an (AlOSi)⁻ or (FeOSi)⁻ network is formed as the native oxide grows, resulting in the appearance of a negative charge. Furthermore, P⁵⁺ also replaces the Si ion (Si⁴⁺) in the native oxide (SiO₂) and forms a (POSi)⁺ network, resulting in a positive charge.³⁷⁾



Fig. 9. AC SPV of n-type Si(001) wafers treated with metal-contaminated RCA alkaline solution.



Fig.10. Charge induction mechanism by which trivalent and pentavalent atoms exchange with tetravalent Si atoms in the native and/or oxide on Si wafers, inducing negative and positive charge, respectively.

3.3 Behavior of metal-induced negative oxide charge measured by frequency-dependent AC SPV method in metalcontaminated n-type Si (001) wafers

The frequency-dependent AC SPV was measured with an instrument, developed in-house, on the basis of the system reported by Munakata et al.¹⁴⁻¹⁶⁾ This instrument is shown schematically in Fig. 11.⁷⁰⁾ The instrument evaluates charged states by irradiating the wafer with a blue PB (with a wavelength peak at 470 nm) and an optical power on the order of microwatts. The incident PB power was actually adjusted to 2.5 μ W.⁷⁰⁾ As a result, a negligible electric field is applied to the surface, and thus no charge is eliminated or created at the surface.

Figure12 plots the frequency-dependent AC SPV versus exposure time in air for an Al-contaminated n-type Si wafer. ⁷⁰⁾ The occurrence of the AC SPV definitely reveals that negative charge appeared on the surface of the Si. In the early stages of exposure to air, the AC SPV versus frequency relationship in the lower frequency region (< 100 Hz) deviated from the normal inverse frequency characteristics in that it was flat in this region. At very high frequencies, on the other hand, the AC SPV showed a tendency to be limited by the depletion layer capacitance, in as much as it was proportional to $1/f(\omega = 2\pi f)$. However, with the passage of time, it can clearly be seen that the frequency-dependent AC SPV below 100 Hz increased and approached the inverse proportionality relationship (1/f), namely, the surface was strongly inverted.⁷⁰

Munakata et al.⁹⁰⁾ has already reported a clear deviation from the 1/f relationship in an electron beam (EB)-irradiated Si wafer due to the recombination of excess carriers at EB-induced traps. The origin of this deviation resides in dense interface traps, called "intrinsic" traps.⁹⁰⁾ These interface traps might degrade the normal AC SPV vs frequency relationship that occurs in the strongly inverted case. The present experimental results (increase of AC SPV



Fig.11. AC SPV measurement instrument developed inhouse.

with air exposure time) have not relationship with the interface traps, ⁷⁰⁾ because the frequency-dependent AC SPV approached 1/f with increasing exposure time to air.

Figure 13 shows the frequency-dependent AC SPV in an Fe-contaminated n-type Si wafer. $^{70)}$ $\,$ In preparation of the samples, the Si wafers were first treated with RCA alkaline solution³¹⁾ and then the wafer surface was contaminated with Fe aqueous solution on a spinner. The surface concentrations of Fe were $3.0 \times 10^{11} \text{, } 2.9 \times 10^{12} \text{, and}$ 2.7×10^{13} atoms/cm² analyzed by TXRF. When the Fe concentration on the surface of Si wafers was 3.0×10^{11} atoms/cm², the AC SPV was flat with a low frequency (below approximately 100 Hz) of chopped PB, indicating that the surface was depleted or weakly inverted,¹⁵⁾ as discussed in the Al-contaminated case. As the Fe concentration on the surface of Si wafers was increased, the AC SPV in the lower frequency region increased for the concentration of 2.9×10^{12} atoms/cm² and finally approached 1/fcharacteristics for the wafer with a concentration of



Fig.12. Frequency-dependent AC SPV in n-type Si(001) wafers, contaminated by Al (10 μ g/mL) in RCA alkaline solution, as function of air exposure time.



Fig.13. Frequency-dependent AC SPV in n-type Si(001) wafers, contaminated by Fe, as a function of Fe concentration prepared by Kanto Kagaku Corp.

 2.7×10^{13} atoms/cm², where it was limited by the depletion layer capacitance, indicating that the surface was strongly inverted.¹⁴⁾

If the atomic bridging mechanism works as well as in the Al case, the incorporation of trivalent Fe, O and Si atomic bonds, the so-called (FeOSi)⁻ network, ³⁶⁾ must have been completed. As a result, trivalent Al- and Fe-induced negative charges, which have been described as the Q_{mi} , ⁴⁴⁾ were found to be dependent on frequency in a similar manner. The (AlOSi)⁻ and (FeOSi)⁻ networks were confirmed to survive after thermal oxidation by Shimizu and coworkers. ⁹¹⁻⁹⁵⁾

In thermally oxidized Al-contaminated n-type Si dioxide (SiO_2) , Al is clarified to be segregated at the very top area of SiO₂, ^{67, 68)} causing a negative charge, as has been suggested by the formation of an $(AlOSi)^-$ network and/or AlO₂⁻ based on AC SPV. ^{54, 84-86)} Figure 14 plots the AC SPV versus frequency relationship of the wafers contaminated by Al and oxidized for 10 min between 550 and 900 °C. ⁸⁵⁾ These results demonstrate that the surface is strongly inverted in n-type Si, proving that the $(AlOSi)^-$ network and/or AlO₂⁻ in native oxide still survives upon thermal oxi-



Fig.14. Frequency-dependent AC SPV of Al-contaminated n-type Si (001) wafers thermally oxidized for 10 min between 550 and 900 $^\circ\!\!\!C$.



Fig.15. Frequency-dependent AC SPV of thermally oxidized Al-contaminated n-type Si(001) wafers (1); the oxide thickness was etched away to depths of 0.8 (2); the etching time was 15 s) and 2.4 nm (3); the etching time was 62 s).

Table 1 . AC SPV occurrence (\bigcirc , \bigcirc , \bigcirc , and \times)vs Al concentration of oxide etched stepwise for 15, 30, 45, and 62 s where the etching times of 15 and 62 s correspond to frequency-dependent AC SPV(\bigcirc and \bigcirc), as shown in Fig. 15.

No	Etching time (s)	Oxide thickness (nm)	Al concentration (atoms/cm ²)	AC SPV occurrence	Correspondence to Fig. 15
1	0	7.3	4.0×10 ¹⁴	0	-0-
2	15	6.5	9.0×10 ¹²	0	-•-
_	30	5.8	7.0×10 ¹²	Δ	_
—	45	5.2	3.6×10 ¹²	Δ	_
3	62	4.9	<1.9×10 ¹²	×	

 $\odot > \bigcirc > \bigtriangleup$: Occurrence of AC SPV

 \times : Disappearance of AC SPV



Fig.16. Frequency-dependent AC SPV of Al-contaminated n-type Si(001) wafers oxidized for 3h between 550 and 900 $^\circ\!\!\!C.$

dation for 10 min.

For a strongly inverted state at an oxidation temperature of 800 °C for 1 h (Fig. 2 of Ref. 85), the thickness of the Al-induced negative charge region is quantitatively determined to be 2.4 nm on the basis of AC SPV after successive step etching and chemical analysis as shown in Fig. 15. ⁹³⁾ Table 1 shows a summary of the Al concentrations of the wafers of which SiO₂ was etched stepwise, and the AC SPV occurrence corresponding to Fig. 15. The Al concentration analyzed for the sample oxidized at 800 °C for 1 h was 4.0×10^{14} atoms/cm², and the amounts of other impurities were under the detection limit. As oxidation duration increased at 800 °C for 3 h, the strongly inverted state changed into a weakly inverted state, where the thickness of the Al-rich region is reduced (0.8 nm), proving that more than half of the (AlOSi)⁻ network collapse and/or Al diffuses inside SiO₂ during a longer oxidation duration (Fig.16).⁹³⁾

For thermally oxidized Fe-contaminated p-type Si wafer, Shimizu and Saitou⁹⁴⁾ clarified that the AC SPV was reduced depending on Fe concentration against the AC SPV of p-type Si wafer that oxidized cleanly (positive charge on p-type Si). They reported that this result proves an appearance of a negative charge $[(\text{FeOSi})^- \text{ network}]$ due to Fe survived in thermal SiO₂ film layer. This result was quantitatively analyzed in the Fe-contaminated (001) surface of n-type Si wafers on the basis of frequency-dependent AC SPV method by Shimizu and Otsuki.⁹⁵⁾ At an oxidation of 650 °C for 60 min, strong inversion is unquestionably observed in Fig. 17, proving that the (FeOSi)⁻ network survives and that most of the added Fe has segregated into the region closest to the surface of the thin SiO₂ film. At 850 °C



Fig.17. The frequency-dependent AC SPV of oxidised ntype Si (001) wafers contaminated by an aqueous Fe solution in which the SiO₂ has been etched stepwise in an aqueous HF solution. The wafers had been thermally oxidized at 650 $^{\circ}$ C for 60 min and the step etching times were 15 and 45 s. ⁹⁵⁾The original oxide thickness was 4.3 nm.



Fig.18. A schematic diagram of the metal (Fe)-induced negative oxide charge $(Q_{\rm mi})^{950}$ described by a (FeOSi)⁻ network in the thin SiO₂ film together with the usual oxide charges.

and/or for long oxidation times, the AC SPV decreases and ultimately disappears, implying that the (FeOSi)⁻ network has collapsed and may have changed into Fe₂O₃ (Fig. 4 of Ref. 88). A model for the metal-induced negative oxide charge (Q_{mi}) in the conventional oxide charge diagram⁹⁶⁻⁹⁸⁾ is proposed (Fig. 18).

3.4 Transfer from Schottky barrier type AC SPV to the *Q*_{mi} type AC SPV in thermally oxidized Cr-contaminated n-type Si(001) wafers

Immediately after rinsing n-type Si(001) wafer in an aqueous solution containing Cr (10 μ g/mL; 5 min exposure to air), the Cr (Cr³⁺⁺ 3 e⁻ \rightarrow Cr) deposited on the surfaces of the wafers had already been converted into Cr(OH)₃ and/or Cr₂O₃ [analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)]. This Cr(OH)₃/Si contact formed a Schottky barrier on n-type Si. This gives rise to a depletion and/or an inversion layer formed at the surface, resulting in the appearance of a frequency-dependent AC SPV as shown in Fig. 19.⁷¹⁾ With exposure to air, the AC SPV in n-type Si wafers was reduced. This happens because Cr was oxidized and the Cr(OH)₃ became Cr₂O₃ through the reaction 2 Cr(OH)₃ \rightarrow Cr₂O₃ + 3 H₂O, thus reducing the Schottky barrier height.

The height of the Schottky barrier was estimated on the basis of the frequency-dependent AC SPV characteristics. First, the cut off frequency $(f_c = g_{mj} / 2\pi c_{dp})$ was determined to be at a frequency of 100 Hz in Fig. 19.⁷¹⁾ The



Fig.19. AC SPV vs frequency relationship as a function of exposure time to air for Cr-contaminated n-type Si wafers. The 45° degree dotted line indicates a strongly inverted state which is proportional to 1/f (*f*: frequency).

majority carrier conductance (g_{mj}) and the depletion capacitance (c_{dp}) are given by the following equations: ^{14,15)}

$$g_{mj} = \sqrt{2}qn_s\mu_n \exp\left(-\frac{E_s}{E_0}\right) \frac{\sinh(u_s - u_F) + \sinh u_F}{L_{Di}F(u_s, u_F)}$$
(5)

where q is the electronic charge, n_s is the electron density at the wafer surface, E_s is the surface electric field intensity, E_0 is the characteristic field intensity, L_{Di} is the intrinsic Debye length, u_{F} is the dimensionless Fermi potential,¹⁴⁾ and us is the dimensionless surface potential.¹⁴⁾ The function $F(u_s, u_{\text{F}})$ is given by

$$F(u_{s}, u_{F}) = -\sqrt{2} (\cosh(u_{s} - u_{F}) + u_{s} \sinh u_{F} - \cosh u_{F})^{1/2}$$
(6)

and C_{dp} is given by the following equation:

$$C_{dp} = \frac{\mathcal{E}_{Si}}{W} \tag{7}$$

 $\varepsilon_{\rm Si}$ is the permittivity of bulk Si and *w* is the depletion width.²⁾ The donor concentration (*N*_D) was 4×10^{20} m⁻³ in this experiment. The surface potential ($\Phi_{\rm s}$) and Fermi potential ($\Phi_{\rm F}$) were calculated to be – 0.45 and – 0.26 eV, respectively. Thus, the barrier height ($\Phi_{\rm B}$) was estimated to be 0.75 eV (Fig. 20).⁷¹⁾ Based on the electron affinity of Si ($\chi_{\rm Si}$) (4.05 eV), a schematic band diagram of the Cr-contaminated n-type Si interface is shown in Fig. 20.⁷¹⁾ Thus, the work function of the Cr(OH)₃ was obtained as 4.8 eV. The previously reported work function of Cr was 4.5 eV. The work function difference (0.3 eV) between Cr(OH)₃ and Cr is caused by that bonds between Cr and OH need more energy to excite electrons than that from Cr itself.

The Cr(OH)₃/n-Si Schottky-barrier-type AC SPV in n-type Si(001) wafers faded away during long air exposure

at room temperature and/or thermal oxidation at 100 $^\circ\!\!\mathrm{C}$ for a short time (10 min), indicating a collapse of the Schottky barrier.⁹⁹⁾ At 100 °C, the AC SPV reappeared with a longer duration time in n-type Si wafers (Fig. 21),⁹⁹⁾ explaining the occurrence and growth of a negative oxide charge owing to the formation of an atomic bridging $(CrOSi)^-$ or CrO_2^- network.^{97, 99, 106)} At 200 °C, the AC SPV approached a strong inversion state in n-type Si.⁹⁹⁾ In contrast, in p-type Si(001) wafers, the AC SPV decreased with oxidation duration time at 100 $^{\circ}$ C. At 200 $^{\circ}$ C, the AC SPV completely disappeared in p-type Si (Fig. 22).¹⁰¹⁾ This result explains why a positive fixed oxide charge in ptype Si was compensated for by the growth of a Cr-induced negative charge $[(CrOSi)^- \text{ or } CrO_2^- \text{ network}].$ This reverse interrelation gave evidence that the translation occurred from the Schottky barrier to the atomic bridging AC SPV, and thus the Cr-induced negative charge can be described as $(CrOSi)^-$ and/or CrO_2^- networks as well as (AlOSi) - or (FeOSi) - networks.



Fig.21. AC SPV vs. frequency relationship for both the Craqueous-solution-rinsed p-type Si(001) wafers oxidized at 100 °C as a function of oxidation time. The dotted line indicates a strongly inverted state.⁹⁹⁾



Fig.20. A schematic band diagram proposed for Cr-contaminated n-type Si for the case where a Schottky barrier [Cr(OH)₃-n-type Si contact] is formed.



Fig.22. AC SPV vs. frequency relationship for the Craqueous-solution-rinsed p-type Si(001) wafers oxidized at 200 °C.

3.5 Frequency-dependent Schottky barrier type AC SPV on Au-contaminated and thermally oxidized n-type Si(001) surface

The increasing application of Schottky barrier devices and drastically miniaturized metal-oxide-semiconductor (MOS) devices has strengthened the interest in interactions between metals and Si. For example, since a deeper understanding at atomic scale of the Au/Si interface is indispensable for producing miniaturized MOS devices, interfacial reactions between Au and Si have been investigated in detail.¹⁰³⁻¹⁰⁹⁾ Moreover, the formation of nano-gold silicides, used as Schottky barriers^{103, 110, 111)} and ohmic contacts in devices, is of particular interest in the emerging areas of nanoscience and nanotechnology. ^{112, 113)}

When n-type Si (001) wafers with a hydrophobic surface are rinsed in Au aqueous solution (Au surface concentration: 2.3×10^{15} atoms/cm²), ⁷²⁾ frequency-dependent AC SPV is generated by the deposition of Au on the Si surface (Au/n-Si Schottky barrier) as shown in Fig. 23. In comparison with the Au-contaminated sample, AC SPV vs. frequency data of the sample immersed in HCl solution were demonstrated as Ref. The f_c in the figure is a cut-off frequency.¹⁴⁾ After the exposure for 5 min in Au-contaminated sample, AC SPV already appeared and unchanged until 8 days. In the low frequency region, AC SPVs were constant less than 40 Hz, and in high frequency region AC SPVs were proportional to 1/f. Based on the principle of the AC SPV occurrence, these results demonstrate that depleted or weakly inverted layers can be formed at the Au/n-Si interface.⁷²⁾ It was postulated that the AC SPV is caused by the Schottky barrier.^{72, 75)} Thus, the occurrence of AC SPV in Au-contaminated wafers differs fundamen-

tally from that originally described as the $Q_{\rm mi}$ ^{44,45)} shown by (AlOSi)⁻ networks and/or AlO₂⁻ in n-type Si. At the moment, the Au/n-Si Schottky barrier might be considered to be one of the most plausible causes of an occurrence of AC SPV. However, in reference to previous reports, gold silicide may be created at the Au/n-Si interface at relatively low annealing temperatures.^{105,106,114)} The gold silicide might also cause AC SPV.

Based on the value of Schottky barrier type AC SPV, heights of the Au/n-Si Schottky barriers were calculated to be 0.73-0.76 eV $^{72)}$ for native oxide and 0.70 eV $^{73)}$ for thermally oxidized Au-contaminated n-type Si, which are comparable to a previously reported result (0.81 eV). $^{115)}$

Upon oxidation of Au-contaminated Si(001) surfaces below 600 $^{\circ}$ C for 30 min, the frequency-dependent AC SPV clearly appeared in Fig. 24, ¹¹⁶⁾ and the Si surface was thus postulated to be weakly inverted. ¹⁵⁾ This result indicates



Fig.24. Frequency-dependent AC SPV of thermally oxidized Au-contaminated n-type Si(001) wafer with oxidation temperatures between RT and 900 $^\circ\!\!C$ for 30 min.



Fig.23. Frequency-dependent AC SPV on the n-type Si (001) surface deposited by Au-aqueous-solution. Time shows exposure time in air of Au-deposited wafers.



Fig.25. Variation of frequency-dependent AC SPV of thermally oxidized Au-contaminated n-type Si (001) wafers with oxidation times between 10 and 360 min at $750\ {\rm C}$.

that Au/n-Si Schottky barriers and/or gold silicide may cause AC SPV at the Au/n-Si interface.⁷⁵⁾ At 700 and 750 $^{\circ}$ C, the AC SPV in the low-frequency region decreases slightly and saturates. At oxidation temperatures of 800, 850, and 900 $^{\circ}$ C for 30 min, the AC SPV was undetectable by the present instrument. Shimizu et al.⁷⁴⁾ reported that the AC SPV became undetectable for oxidation times longer than 60 min at 750 $^{\circ}$ C, for which the oxide thickness was about 10 nm (Fig. 25). As for the elimination of AC SPV, the oxide thickness may play an important role, because AC SPV vanished for the oxide thickness greater than 10 nm, irrespective of oxidation temperature and time.^{74, 116)} Therefore, in the near future, the relationship between AC SPV and frequency will be analyzed using the theory proposed by Imamura¹¹⁷⁾ on the basis of physical parameters such as oxide thickness.

3.6 Behavior of gold nanocluster exposed in Au-contaminated n-type Si (001) surface at RT on the basis of AFM and HR-TEM.

The behavior of Au nanoclusters at the Au/n-Si interface was investigated on the basis of an AFM and a transmission electron microscope (TEM). Immediately after Au was deposited in a Au aqueous solution at room temperature, Au was assumed to exist as Au cluster on the Si surface by Omori et al.⁷²⁾ Then, the Au-contaminated surface was observed by an AFM to confirm the speculation. The AFM image of the Au-contaminated n-type Si(001) surface immediately after Au was deposited in an Au aqueous solution at RT is shown in Fig. 26.¹¹⁶⁾ This image illustrates granule-shaped nanometer-size (20-30 nm) clusters on the Si(001) surface. According to XPS analysis, soon after the Au was deposited on the Si(001) surface, the thickness of the native oxide grown on the Au nanoclusters became very small.^{72,74)}

This protuberance observed by the AFM must thus be a Au nanocluster covered with an ultrathin native oxide. Hiraki et al.¹⁰⁴⁾ have proposed a model in which SiO₂ film is readily formed over Au layers on a Si substrate, when the Si substrate was covered with evaporated Au and heated at 100-300 $^{\circ}$ C in an oxidizing atmosphere. This result is attributed to the speculation that Si migrates through a Au layer and the Si atoms react with oxygen to form a SiO₂ film over the Au layer.¹⁰⁴⁾ Green and Bauer^{105,106)} have also reported that a gold silicide layer grows at RT because Si atoms diffuse through the Au film.

Upon rinsing the specimen in the Au-contaminated aqueous solution, Au was deposited on the Si surface (hydrophobic) by electron capture (Au³⁺ + 3 e⁻ \rightarrow Au) because the reduction potential of Au³⁺ is higher than that of Si. According to previously reported XPS profiles of samples exposed to air for between 15 min and 8 days at RT,²⁷⁾ the binding energy from the Au 4 f_{7/2} spectrum is 84.2 eV, which is close to that of Au (metal), i.e., 84 eV.³¹⁾ Omori et al.²⁷⁾ concluded that Au did not bond with oxygen and was still present in clusters on the n-type Si(001) surfaces during the exposure to air at RT.

An HR-TEM image and a vertical line profile due to atoms of the Au-contaminated Si(001) wafer exposed to air for 30 days at RT are shown in Fig. 27. The SiO_2 film layer was found to grow to a thickness of 2.8 nm on dark granular regions at the Au/n-Si interface, which may be composed of Au nanoclusters. This is possibly because Si atoms may diffuse through the as-deposited Au layer and be oxidized at the top of the Au layer in air at RT in accordance with the results obtained by Hiraki et al.¹⁰⁴⁾ and Green and Bauer.¹⁰⁵⁾ In Fig. 27, the Au nano-clusters at the Au/n-



G2 eposy Au Si Si 10 nm Jo ntensity (a.u.)

Fig.26. Images observed by AFM of Au-contaminated n-type ${\rm Si\,}(001)$ surfaces immediately after Au deposition at RT.

Fig.27. Cross-sectional view by HR-TEM of an Au-contaminated n-type Si(001) wafer exposed to air for 30 days at RT.

Si interface partly changed in form in comparison with those shown in Fig. 26, and parts of the Au nano-clusters are embedded in the Si substrate. During long exposure to air at RT, the protuberances observed in AFM images are formed by the Au nano-clusters covered with the SiO_2 film layer. The identity of the nano-size protuberances will be discussed later.

3.7 Nano-size protuberances of thermally oxidized Au-contaminated Si(001) wafers observed by AFM, TEM and STEM-EDS

An AFM image and a cross-sectional TEM image of the Au-contaminated Si(001) wafer thermally oxidized at 500 °C for 30 min of shown in Figs. 28(a) and 28(b), respectively.¹¹⁶⁾ Compared with the protuberances observed in Fig. 28(a), those observed in Fig. 28(b) are changed in form. Small black granules at the Au/n-Si interface in Fig. 28 (b) may be Au nanoclusters. According to former reports ^{104, 105)} and Fig. 27, a thin SiO₂ film may grow over the Au nanoclusters.

An AFM image and a cross-sectional TEM image of the Au-contaminated Si (001) wafers thermally oxidized at 850 °C for 30 min are shown in Figs. 29(a) and 29(b), respectively.¹¹⁶⁾ The cross-sectional image obtained by TEM clearly identifies the existence of the Au nanoclusters (approximately 20 nm in size) at the Au/n-Si interface. The identity of the protuberance in the AFM image is considered to be a bulge of the SiO₂ film layer (about 50 nm in size) over the Au nanocluster. Thus, the bulges of the SiO₂ film layer over the Au nanocluster could be due to the previously reported enhanced SiO₂ growth by the catalytic action of Au. Figure 30 gives an evidence of the enhanced SiO₂ growth of Au-contaminated and thermally oxidized Si(001) wafer.^{75,107,)} Furthermore, in Fig. 29(b), there are two finlike structures on both sides of the Au nanocluster. These structures may be the regions where crystallized Au and Si overlap, as evidenced by the HR-TEM image.¹¹⁶⁾

The line profile extracted from the energy-dispersive x-ray spectroscopy (EDS) maps in Au nanocluster embedded of SiO₂-Si regions is shown in Fig. $31.^{116}$ Values of the vertical axis are defined as conversion intensity number of atoms into which counts were converted by using a Cliff-Lorimer *k*-factor obtained by software of NSS 3.0 (Thermo-Fisher), and atomic mass unit (AMU). With consideration of the fact that the oxygen signal includes background of approximately four counts due to contaminants deposited during the signal acquisition, the conversion intensity of



(b)

20 nn





Fig.28. Analyses by (a) AFM, and (b) a cross-sectional TEM technique, on Au-contaminated Si(001) wafers thermally oxidized at 500 $^\circ\!\!C$ for 30 min.

Fig.29. Analyses by (a) AFM, and (b) a cross-sectional TEM technique, on Au-contaminated Si(001) wafers thermally oxidized at 850 $^{\circ}$ C for 30 min.

oxygen atoms is two times larger than that of Si for distances of 20 to 30 nm. In Fig. 31, therefore, the band with a thickness of 10 nm is considered to be due to the SiO_2 film layer.

A cross-sectional view of an HR-TEM image and a fast-Fourier-transform (FFT) diffractogram of the Au-contaminated Si(001) wafer thermally oxidized at 850 °C for 30 min are shown in Figs. 32(a) and 32(b), respectively. The HR-TEM image, which is a magnified region similar to that shown in Fig. 29(b), shows a Au nanocluster partially implanted in the Si substrate. The relationship between the crystallographic orientations of Si[311], Au[200], Si[111], and Au[020], obtained by HR-TEM complemented with FFT diffractogram analysis, is shown in Fig. 32(b). This FFT pattern indicates spaced-apart parallel lattice planes, which were identified with a single crystal of Au (fcc structure) and Si (diamond structure). As a result, each crystallographic orientation relationship shows that the direction of Au[001] is parallel to Si[110] and that of the lattice plane Au(020) in parallel to Si(311), indicating the epitaxial growth of Au. Regarding micrometer scale, it has been reported that annealing Au/Si junctions above the eutectic temperature produces epitaxial ordering of Au

and Si on Si(001) and Si(111) surfaces, shown to be Au (11 $\overline{1}$) // Si($\overline{1}11$) and Au($\overline{1}32$) // Si($\overline{1}23$), respectively, by Chang et al.¹¹⁹⁾

As shown in Fig. 32(a), a moiré fringe is observed in the Au nano-cluster overhanging the Si substrate. The moiré-fringe spacing corresponds to a parallel moiré spacing (D = 0.83 nm) caused by parallel overlapping of two lattice fringes of Au(200) ($d_1=0.2039$ nm) and Si(113) (d_2 = 0.16375 nm). The occurrence of the parallel Moiré fringes is evidence that both Au and Si crystals overlap each other, implying that the partial implanted Au particle embedded in the Si substrate grew as a single crystal with an fcc structure, in other words, Au and Si did not form an alloy.



Fig.30. Comparison of the oxide thickness between Au-contaminated ("Au") and RCA-rinsed ("RCA") n-type Si(001) wafers thermally oxidized at 500 $^\circ\!\!C$ as functions of oxidation times.



Fig.31. EDS line profile of the elements shown by an arrow in the inserted HAADF-STEM image. Vertical axis shows intensity converted from signal counts to amount proportional to number of atoms. The white rectangle superimposed on the image is the EDS analysis area in Au nanocluster embedded of SiO₂-Si regions.



(a)

(b) Si 311 Au 200 TSi 111 TAu 020 Tore axis : Si [011] // Au[001]

(b)

Fig.32. Analyses by (a) a cross-sectional HR-TEM technique, and (b) FFT diffractogram of Au-contaminated Si (001) wafer thermally oxidized at 850 $^\circ\!\!C$ for 30 min.

3.8 Positive charge generation in aqueous HF-solution-dipped p-type Si surfaces

As described in section 1.4, Shimizu and Munakata⁴³⁾ have reported another charge-induction mechanism in which a positive charge appears shortly after aqueous HF solution treatment of the Si wafer (surfaces become hydrophobic and hydrogen-terminated).⁴⁶⁻⁴⁸⁾ Figure 33 shows dependence of AC SPVs on resistivity in p-type Si wafers subjected to dipping in aqueous HF solution and exposed in air, plotted against exposure time in air. Circles show the resistivity of 33 ± 1.2 , triangles show that of 10 ± 0.5 and \times shows $1.3 \pm 0.02 \ \Omega \cdot cm$. Higher resistivity, higher AC SPV, as previously reported. ¹⁴⁾ The appearance of AC SPV in p-type Si wafers reveals an occurrence of a positive charge. The observed plot of AC SPVs against exposure time showed a reverse S-shaped curve. The inflection points in the plot of AC SPVs against exposure time correspond well to the step growth of the native oxide (layer-by-



Fig.33. Resistivity dependence of AC SPV as a function of exposure time. P-type Si wafers were treated by the aqueous HF solution and exposed in air.

layer growth of the native oxide).⁴³⁾ The observed AC SPVs indicated that the positive charge decreases and/or is compensated by negative charge created somewhere in the native oxide or at the interface, resulting in less inversion. If some unpaired Si dangling bonds remain on the HF-solution-dipped surface, the dangling bonds (ionized Si) might act as positive charge. If such ionized Si captures an oxygen atom, it loses positive charge by emitting a hole or by capturing an electron.⁴³⁾ Therefore, the disappearance of positive charge could be explained by the stepwise growth of the native oxide.

Based on Munakata et al., ¹⁴⁾ the present relative AC SPVs obtained with 2 kHz PB chopping for various resistivities are in good agreement with the theoretical relative depletion layer thicknesses in strongly inverted p-type Si wafers. Here, maximum AC SPVs were taken at the exposure time of 1 h. Hence, it is concluded that the surface layer of the HF dipped p-type Si wafers is strongly inverted, at least for a short time after aqueous HF solution dipping.

3.9 $Q_{\rm f}$ in n-type Si wafers based on the existence of $Q_{\rm min}$

In section 1.5, a positive charge called Q_f has been reportedly postulated to appear in thermally grown oxide on p-type Si wafers. The origin of the charge has been considered to be dangling bonds of Si atoms located at the interface between the SiO₂ layer and the p-type Si surface. Q_f should also appear in n-type Si wafers because similar dan-

gling bonds must also appear at the surface. As has been described in section 1.5, the negative charge has been reported for Al-contaminated and/or Al-contaminated and oxidized in n-type Si (001) wafer. ^{32, 33, 34)} However, it is not yet implemented so far whether $Q_{\rm f}$ in n-type Si is positive or negative charge.

In order to overcome the possible ambiguity mentioned above, two kinds of procedures are employed in the present experiment. The first procedure is to add an extra negative charge to the oxide layers of both n- and p-type Si wafers (Al-contaminated). With this additional negative charge, the AC SPV in the n-type Si wafers is expected to increase and that in the p-type Si to decrease. The second procedure is eth off the oxide layer in a stepwise manner. After the first etching of the oxide layer, the AC SPV in the p-type Si wafer abruptly jumps up to the highest leel as shown in Fig.34. This must correspond to the complete elimination of $Q_{mi}(p,n)$ existing on the top



Fig.34. AC SPVs after stepwise etching of thermally grown SiO₂ layers on Al-contaminated Si(001) wafers. Each AC SPV represents an average of those obtained along the diameter of the sample wafer. Error bars extend to within $\pm 5\%$ of the average values

surface of the oxide, and now $Q_f(p)$ is dominant in oxide charge. In this case, $Q_f(p)$ is negative. On the other hand, the AC SPV in n-type Si wafer disappears as expected based on the former experimental results. After the deep etching of the oxide, a small peak of the AC SPV appeared when the oxide surface came close to SiO₂-Si interface in the n-type Si sample. In the p-type Si sample, a small dip appeared at the equivalent position. This small peak and dip imply that the negative charge appeared somewhere in the oxide layer. Thus, Q_f , which is defined to be positive, in ntype Si wafers is found to be almost completely neutralized by abundant carriers (electron in n-type Si) during thermal oxidation at high temperature. Consequently, the positive oxide charge might disappear in n-type Si wafers. Instead, the resultant oxide charge in thermally oxidized n-type Si wafers is often negative because of possible interface-trapped charge.

4. Conclusion

AC surface photovoltage (SPV) was used to clarify electric charge on the surface of silicon (Si) wafers treated with standard clean SC-1 (alkaline) and SC-2 (acid) solutions, hydrofluoric acid (HF), and intentionally contaminated solutions. Results show that trivalent aluminum (Al) and iron (Fe) contamination cause a negative charge in the native oxide, resulting in the appearance of an AC SPV in n-type silicon possibly due to the formation of (AlOSi)⁻ and (FeOSi)⁻ networks. Pentavalent phosphorus (P) contamination causes AC SPV in p-type silicon by creating a positive charge, possibly forming a (POSi)⁺ network. Al and Fe segregate into the uppermost layer of the thermally grown oxide and a negative charge survives even after thermal oxidation. Based on the generally accepted model by Deal,²⁵⁾ the induction effect of the metal impurities suggests metal-induced oxide charge (Q_{mi}) in thermal oxide. In contrast to a bridging mechanism, a positive charge appears in the hydrophobic surface of p-type silicon wafers dipped in aqueous HF solutions, but weakens during the layer-by-layer growth of the native oxide, possibly because the ionized Si captures an oxygen atom and then loses positive charge by emitting a hole or by capturing an electron.

For Cu-deposited surfaces, a Cu-Si contact is formed, and for this a Schottky-barrier type AC SPV is proposed. As for Au-contaminated n-type Si wafers, a Schottky-barrier type AC SPV is clearly proved and heights of the Au/n-Si Schottky barriers were calculated to be 0.73-0.76 eV for native oxide and 0.70 eV for thermally oxidized Au-con-taminated n-type Si. The identity of the nano-size protuberance is considered to be a bulge of the SiO₂ film layer (about 50 nm in size) over the Au nano-cluster. Thus, the bulges of the SiO₂ film layer over the Au nanocluster could be due to the previously reported enhanced SiO₂ growth by the catalytic action of Au. The occurrence of the parallel Moiré fringes is evidence that both Au and Si crystals overlap each other, implying that the partial implanted Au particle embedded in the Si substrate grew as a single crystal with an fcc structure, in other words, Au and Si did not form an alloy. Furthermore, crystallographic relationship between Au nano-cluster and Si substrate was clarified.

In contrast to the Q_{mi} induction mechanism (bridging mechanism), a positive charge appears in the hydrophobic surface of p-type Si wafers dipped in aqueous HF solutions, but weakens during the layer-by-layer growth of the native oxide, possibly because the ionized Si captures an oxygen atom and then loses positive charge by emitting a hole or by capturing an electron.

Finally, fixed oxide charge, $Q_{f,i}$, in n-type thermally oxidized Si is neutralized because dangling bonds at the Si-SiO₂ interface, even if positive, are captured by abundant majority carriers (electron in n-type Si) from the substrate, that is, electron in this case.

5. Acknowledgements

This work was conducted originally in Hitachi, Ltd. The authors are indebted to financial support of Hitachi, Ltd. Part of this work was conducted at the Center for Nano Lithography & Analysis at the University of Tokyo under the support of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan. The author thanks Dr. C. Munakata, Dr. N. Honma, and Dr. M. Ikeda. The authors are grateful for financial support from College of Engineering, Nihon University.

6. References

- 1) W. H. Brattain: Phys. Rev., 72, pp. 345 (1947).
- 2) W. H. Brattain and J. Bardeen: Bell System Tech. J., 32, pp. 1 (1953).
- 3) C. G. B. Garrett and W. H. Brattain: Phys. Rev., 99, pp. 376 (1955).

- 4) E. O. Johnson: J. Appl. Phys., 28, pp. 1349 (1957).
- 5) A. M. Goodman: A method for measurement of short minority carrier diffusion lengths, J. Appl. Phys., 32, pp. 2550-2552 (1961).
- 6) J. Lagowski, P. Edelman, M. Dexter and W. Henley: Non-contact mapping of heavy metal contamination for silicon IC fabrication, Semicond. Sci. Technol. 7, pp. A185-A192 (1992).
- 7) G. Binning and H. Rohrer: Scanning tunneling microscope: Hel. Phys. Acta., 55, pp. 726 (1982).
- G. Binning, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel: 7 x 7 reconstruction on Si(111) resolved in real space, Phys. Rev., 50, pp.120-123 (1983).
- 9) J. M. R. Weaver and H. K. Wickranmasinghe: J. Vac. Sci. Technol., B9, pp. 1562 (1991).
- 10) For example, A. Goetzberger and W. Shockley: J. Appl. Phys. 31, pp. 1821 (1960); P. S. D. Lin, R. B. Marcus and T. T. Sheng: Leakage and breakdown in thin oxide capacitors-Correlation with decorated stacking faults, J. Electrochem. Soc. 130, pp. 1878 (1983); R. Takizawa T. Nakanisi and A. Ohsawa: Degradation of metal-oxide-semiconductor devices caused by iron impurities on the silicon wafer surface, J. Appl. Phys., 62 (12), pp. 4933-4935 (1987).; M. Takiyama: Effect of metal contamination causing gate oxide dielectric breakdown, Clean Technology, 8 (5), pp. 31-35 (1998).; W. B. Henley, L. Jastrzebski, and N. F. Haddad: J. Non-Cryst. Solids, 187, 134 (1995); D. A. Ramappa and W. B. Henley: J. Electrochem. Soc., 146, 2258 (1999).
- H. C. Gatos and J. Lagowski: Surface photovoltage spectroscopy- A new approach to the study of high-gap semiconductor surfaces, J. Vac. Sci. & Technol., 10, pp. 130-135 (1973).
- 12) R. S. Nakhmanson: Frequency dependence of the photo-EMF of strongly inverted Ge and Si MIS structures, Solid-State Electron., 18, pp. 617-626 (1975).
- E. Kamieniecki: Determination of surface space charge capacitance using a light probe, J. Vac. Sci. & Technol., 20, pp. 811-814 (1982).
- 14) C. Munakata, S. Nishimatsu, N. Honma and K. Yagi: AC surface photovoltages in strongly-inverted oxidized p-type silicon wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 23, pp. 1451-1461 (1984).
- 15) C. Munakata and S. Nishimatsu: Analysis of ac surface photovoltages in a depleted oxidized p-type silicon wafer, Jpn. J. Appl. Phys., 25, pp. 807-812 (1986).
- 16) C. Munakata: Analysis of ac surface photovoltages in accumulation region, Jpn. J. Appl. Phys., 27, pp. 759-764 (1988).
- 17) C. Munakata: Progress in ac surface photovoltage studies, Asia-Pacific Eng. J. 1, pp.3-24 (1991).
- 18) L. Jastrzebski, W. Henley and C. J. Nuese: Solid State Technol. 7, pp. A185 (1992).
- K. Kronik and Y. Shapira: Surface photovoltage phenomena: theory, experiment, and applications, Surf. Sci. Reports, 37, pp.1-206 (1999).
- 20) D. Schroder: Surface voltage and surface photovoltage: history, theory and applications, Meas. Sci. Technol., 12, pp. R16-R31 (2001) .
- 21) J. Lagowski, A.M. Kontkiewicz, L. Jastrzebski and P. Edelman: Method for the measurement of long minority carrier diffusion lengths exceeding wafer thickness, Appl. Phys. Lett., 63, pp. 2902-2904 (1993).
- 22) E. Kaminiecki: 176th Electrochem. Soc. Fall Meeting, Ext. Abstr. Vol. 89-2, p. 594, Electrochem. Soc., Hollywood, FL (1989).
- 23) J. Ruzyllo, P. Roman, J. Staffa, I. Kashkoush, and E. Kamieniecki: Process, Equipment, and Materials Control in Integrated Circuit Manufacturing II, Proc. of SPIE (The International Society for Optical Engineering, Austin, Texas, 1996) Vol. 2876, p. 162.
- 24) K. Kinameri, C. Munakata and K. Mayama: A scanning photon microscope for non-destructive observations of crystal defect and interface trap distributions in silicon wafers, J. Phys., E.; Sci. Instrum. 21, pp. 91 (1988).
- 25) C. Munakata and S. Matsubara, J. Phys. D: Appl. Phys., 21, pp. 1093 (1983).
- 26) H. Shimizu, N. Honma, C. Munakata and M. Ota: Nondestructive observation of surface flaws and contaminations in silicon wafers by means of a scanning photon microscope, Jpn. J. Appl. Phys., 27, pp.1454-1457 (1988).
- 27) H. Shimizu, C. Munakata, N. Honma, S. Aoki and Y. Kosaka: Observation of ring-distributed microdefects in Czochralskigrown silicon wafers with a scanning photon microscope and its diagnostic application to device processing, Jpn. J. Appl. Phys., 31, pp. 1817-1822 (1992).
- 28) N. Honma, H. Shimizu and C. Munakata: Simplified ac photovoltaic measurement carrier lifetime in Czochralski-grown silicon wafers having ring-distributed stacking faults, Jpn. J. Appl. Phys., 32, pp. 3639-3642 (1993).
- 29) L. Jastrzebski, O. Milic, M. Dexter, J. Lagowski, D. DeBusk, K. Nauka, R. Witowski, M. Gordon and E. Persson: J. Electrochem. Soc., 140, 1152 (1993).
- 30) G. Zoth and W. Bergholz: A fast preparation-free method to detect iron in silicon, J. Appl. Phys., 67, pp. 6764-6771 (1990).
- W. Kern and D. A. Puotinen: Cleaning solutions based on hydrogen peroxide for use in silicon semiconductor technology, RCA Rev., 31, pp. 187-206 (1970).
- 32) C. Munakata and H. Shimizu: Aluminum-induced AC surface photovoltage in n-type silicon wafers, Semicond. Sci. Technol.,
 5, pp. 991-993 (1990).
- 33) H. Shimizu and C. Munakata: Effects of chemical surface treatments on the generation of ac surface photovoltages in n-type silicon wafers, Semicond. Sci., Technol., 6, pp.756-760 (1991).
- 34) H. Shimizu and C. Munakata: Confirmation of aluminum-induced negative charge in native silicon dioxide, Jpn. J. Appl. Phys., 30, pp.2466-2467 (1991).

- 35) H. Shimizu, K. Kinameri, N. Honma and C. Munakata: Determination of surface charge and interface trap densities in naturally oxidized n-type Si wafers using ac surface photovoltages, Jpn. J. Appl. Phys., 26, pp. 226-230 (1987).
- 36) S. Kawado, T. Tanigaki, T. Maruyama, M. Yamasaki, O. Nishima and Y. Oka: SIMS analysis of aluminum contaminants on silicon surfaces, *Semiconductor Silicon 1986*, edited by H. R. Huff, T. Abe and B. Kolbesen, pp. 989-998, Electrochem. Soc. Inc., Pennington, NJ, (1986).
- 37) H. Shimizu, N. Honma, and C. Munakata and H. Shimizu: Measurement of oxide charge densities in Al, Fe-contaminated native oxide layers on n-type Si wafers, Ext. Abstr. 54th Autumn Meeting of the Japan Society of Applied Physics, 11p - B - 16, Vol. 2, p. 707 (Okayama, October, 1991).
- 38) H. Shimizu and C. Munakata: Nondestructive diagnostic method using ac surface photovoltage for detecting metallic contaminants in silicon wafers, J. Appl. Phys., 73, pp. 8336-8339 (1993).
- 39) R. K. Iler: The Chemistry of Silica (Wiley, New, York, 1965) p. 88, 192.
- 40) G. Eisenman: Advances in Analytical Chemistry and Instrumentation, edited by R. N. Reilley, pp. 339-344 (John Wiley & Sons, New York, 1965).
- 41) H. Shimizu and C. Munakata: Iron-induced alternating current surface photovoltages in n-type silicon wafers, Appl. Phys. Lett., 62, pp. 276-277 (1993).
- 42) H. Shimizu and C. Munakata: Phosphorus-induced positive charge in native oxide of silicon wafers, Appl. Phys. Lett., 64, pp. 3598-3599 (1994).
- 43) H. Shimizu and C. Munakata: Effects of chemical surface treatments on the generation of AC surface photovoltages in p-type silicon wafers, Semicond. Sci. Technol., 5, pp. 842-846 (1990).
- 44) H. Shimizu: Behavior of metal-induced oxide charge during thermal oxidation in silicon wafers, J. Electrochem. Soc., 144, pp. 4335-4340 (1997).
- 45) H. Shimizu: Atomic bridging and barrier-type AC surface photovoltage measurements on iron- and copper-contaminated silicon surfaces, J. Electrochem. Soc., 150, pp. G725-G729 (2003).
- 46) Y. J. Chabal, G. S. Higashi, K. Raghavachal and V. A. Burrows: J. Vac. Sci. Technol., A7, pp. 2104 (1989).
- 47) G. S. Higashi, Y. J. Chabal, G. W. Trucks, and K. Raghavachal: Ideal hydrogen termination of the Si (111) surface, Appl. Phys. Lett., 56, pp. 656-658 (1990).
- 48) G. W. Trucks, K. Raghavachal, G. S. Higashi and Y. J. Chabal: Mechanism of HF etching of silicon surfaces; A theoretical understanding hydrogen passivation, Phys. Rev. Lett., 65, 504 (1990).
- 49) T. Sunada, T. Yasaka, M. Takakura, S. Miyazaki and M. Hirose: Jpn. J. Appl. Phys., 29, pp. L2408 (1990).
- 50) M. Morita, T. Ohmi, E. Hasegawa, M. Kawakami, and M. Ohwada: Growth of native oxide on a silicon surface, J. Appl. Phys., 68, pp. 1272-1281 (1990).
- 51) F. Yano, T. Itoga and K. Kanehori: X-ray photoelectron spectroscopy study of native oxidation on misoriented Si (100), Jpn. J. Appl. Phys., 36, pp. L670-L672 (1997).
- 52) T. Yasaka, M. Takakura, S. Miyazaki and M. Hirose: Layer-by-layer oxidation of silicon, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 222, pp. 225-230 (1991).
- 53) F. Yano, A. Hiraoka, T. Itoga, H. Kojima and K. Kanehori: X-ray photoelectron spectroscopy study of submonolayer native oxides on HF-treated Si surfaces, J. Vac. Sci. Technol., A 13, pp. 2671-2675 (1995).
- 54) H. Watanabe, K. Kato, T. Uda, K. Fujita, and M. Ichikawa: Kinetics of initial layer-by-layer oxidation of Si (001) surfaces, Phys. Rev. Lett., 80, pp. 345-348 (1998).
- 55) H. Watanabe, T, Baba and M. Ichikawa: Mechanism of layer-by-layer oxidation of Si (001) surfaces by two-dimensional oxideisland nucleation at SiO₂/Si interfaces, Jpn. J. Appl. Phys., 39, pp. 2015-2020 (2000).
- 56) T. Yasuda, N. Kumagai, M. Nishizawa, S. Yamasaki, H. Oheda and K. Yamabe: Layer-resolved kinetics of Si oxidation investigated using the reflectance difference oscilation method, Phys. Rev., B 67, pp. 195338 (2003).
- 57) T. Yasuda, M. Nishizawa, N. Kumagai, S. Yamasaki, H. Oheda, and K. Yamabe: Atomic-layer resolved monitoring of thermal oxidation of Si(001) by reflectance difference oscilation technique, Thin Solid Films, 455-456, pp. 759-763 (2004).
- 58) Y. Takakuwa, F. Ishida and T. Kawawa: Phase transition from Langmuir-type adsorption to two-dimensional oxide island growth during oxidation on Si(001) surface, Appl. Surf. Sci., 216, pp. 133-140 (2003).
- 59) S. Ogawa and Y. Takakuwa: Simultaneous observation of oxygen uptake curves and electronic states during room-temperature oxidation on Si(001) surfaces by real-time ultraviolet photoelectron spectroscopy, Surf. Sci., 601, pp. 3838-3842 (2007).
- 60) S. Ogawa, A. Yoshigoe, S. Ishidzuka, Y. Teraoka and Y. Takakuwa: Si (001) surface layer-by-layer oxidation studied by realtime photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation, Jpn. J. Appl. Phys., 46, pp. 3244-3254 (2007).
- 61) H. Shimizu and Y. Sanada: Collapse of Cr(OH)₃/n-Si Schottky barrier and growth of atomic-bridging type surface photovoltages in Cr-Deposited n-Type Si (001) wafers, Surf. Interface Anal., 44, pp.1035-1038 (2012).
- 62) H. Shimizu and Y. Sanada: Anomalous oxide charge variation identified by alternating current surface photovoltage method in Cr-aqueous solution-rinsed p-type Si(001) wafers exposed to air, Jpn. J. Appl. Phys., 50, pp. 111301-4 (2011).
- 63) H. Shimizu and C. Munakata: Effect of aluminum on ac surface photovoltages in thermally oxidized n-type silicon wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 31, pp.729-731 (1992).
- 64) J. Kato and Y. Maruo: Investigation of the charge observed in thermal oxide films originating from SC-1 precleaning, J. Electrochem. Soc., 139, pp. 1756-1759 (1992).

- 65) H. Shimizu and C. Munakata: An ac surface photovoltage diagnostic technique for nondestructive detection of metallic contaminants in silicon wafers, Proc. of the Symp. on Diagnostic Technique for Semiconductor Materials and Devices, Miami Beach, Vol. 94-33, pp.120-130, 1994, Electrochem. Soc. Inc., Florida (1994).
- 66) T. Itoga, H. Kojima and A. Hiraiwa: Degradation of SiO₂/Si interface characteristics by aluminum contamination, Ext. Abstract of the 1992 Int. Conf. On Solid State and Materials, Tsukuba, pp.434-436 (1992).
- 67) J. M. deLarios, D. B. Kao, C. R. Helms and B. E. Deal: Effect of SiO₂ surface chemistry on the oxidation of silicon, Appl. Phys. Lett., 54 (8), pp.715-717 (1989).
- 68) H. Shimizu and S. Ishiwari: Iron distribution and iron-induced negative charge in thin SiO₂ films on silicon wafers, Mater. Trans. JIM, 36, pp.1271-1275 (1995).
- 69) N. P. Bansal and R. H. Doremus: Handbook of Glass Properties, Academic Press, New York, p.28 (1986).
- 70) H. Shimizu, R. Shin, and M. Ikeda: Behavior of metal-induced negative oxide charges on the surface of n-type silicon wafers using frequency-dependent AC surface photovoltage measurements, Jpn. J. Appl. Phys., 44, pp.3778-3783 (2005).
- 71) H. Shimizu, E. Omori and M. Ikeda: Anomalous behavior of Schttky barrier-type surface photovoltages in chromium-contaminated n-type silicon wafers exposed to air, Jpn. J. Appl. Phys., 45, pp.4982-4984 (2006).
- 72) E. Omori, H. Shimizu, and M. Ikeda: Analysis of Au/Si Schottky barrier type AC surface photovoltage in silicon wafer surface dipped into Au aqueous solution, Electronics and Communications, Part 2, 90, pp.27-33 (2007).
- 73) H. Shimizu, H. Wakashima, S. Shimada, T. Ishikawa and M. Ikeda: Au/N-type Si Schottky-barrier contact and oxidation kinetics in Au-contaminated and thermally oxidized N-type Si (001) surfaces, Surf. Interface Anal., 40, pp.627-630 (2008).
- 74) H. Shimizu, S. Shimada, S. Nagase, S. Muta and M. Ikeda: Irregular Au profile on the SiO₂ surface at the SiO₂-Si interface and the oxidation kinetics of thermally oxidized Au-contaminated *n*-type Si(001) surfaces, J. Vac. Sci. Technol., A28, pp.94-98 (2010)
- 75) H. Shimizu and Y. Sanada: Schottky-barrier induced AC surface photovoltages in Au precipitated n-type Si(001) surfaces, Jpn. J. Appl. Phys., 50, pp. 085701-5 (2011) [Erratum: 51, p. 079201 (2012)].
- 76) M. Morita, H. Ito, T. Uehiro and K. Otsuka: High resolution mass spectrometry with inductively coupled argon plasma ionization source, Analytical Sciences, 5, pp.609-610 (1989).
- 77) N. Bradshaw, E. F. H. Hall and N. E. Sanderson: Inductively coupled plasma as an ion source for high-resolution mass spectroscopy, J. Anal. At. Spectrom., 4, pp. 801-803 (1989).
- 78) J. Fucsko, S. S. Tan and M. K. Balazs: Measurement of trace metallic contaminants on silicon wafer surfaces in native and dielectric silicon oxides by vapor phase decomposition flow injection inductive couples plasma mass spectrometry, J. Electrochem. Soc., 140, 1105 (1993).
- 79) A. Shimazaki, H. Hiratsuka, Y. Matsushita and S. Yoshii: Chemical analysis impurities in SiO₂ films, Extended abstracts of the 16th (1984 international) conference on solid state devices and materials, Kobe., pp. 281-284 (1984).
- 80) R. S. Hockett and W. Katz: Comparison of wafer cleaning processes using total reflection X-ray fluorescence (TXRF), J. Electrochem. Soc., 136, pp. 3481-3486 (1989).
- 81) M. Hourai, T. Naridomi, Y. Oka, K. Murakami, S. Sumita, N. Fujino and T. Shiraiwa: A method of quantitative contamination with metallic impurities of the surface of a silicon wafer, Jpn. J. Appl. Phys., 27 (12), pp. 2361-2363 (1988).
- 82) M. Takiyama, S Ohtsuka, and M. Tachimori: Influence of magnesium and zinc contaminations on the dielectric breakdown strength of MOS capacitors, Technical report of IEICE, SDM92-176, pp 57-64 (1992).
- 83) J. M. Delarios, C. R. Helms, D. B. Kao and B. E. Deal: Effect of silicon surface cleaning procedures on oxidation kinetics and surface chemistry, Appl. Surf. Sci., 30, pp.17-24 (1987)
- 84) O. J. Anttila, M. V. Tilli, M. Schaekers and C. L. Claeys: Effect of chemicals on metal contamination on silicon wafers, J. Electrochem. Soc., 139, pp. 1180-1185 (1992).
- 85) H. Shimizu and C. Munakata: AC photovoltaic images of thermally oxidized p-type silicon wafers contaminated with metals, Jpn. J. Appl. Phys., 31, pp. 2319-2321 (1992).
- 86) M. Hasebe, Y. Takeoka, S. Shinoyama and S. Naito: Proc. In. Conf. Defect Control in Semiconductor, Yokohama, 1989; Defect Control in Semiconductor, ed. K. Sumino, p.157 (North-Holland, Amsterdam, 1990).
- 87) H. Shimizu and S. Ishiwari: Pack-extraction method combined with inductively coupled plasma mass spectroscopy to monitor metal contaminants on surfaces of silicon wafers, Semicond. Sci. Technol., 15, pp. 776-781 (2000).
- 88) S. Kiyota and S. Ishiwari: Clean Technology 4, pp. 35 (1994).
- 89) H. Shimizu, S. Ishiwari and C. Munakata: Monitoring of ultra-trace contaminants on silicon wafers for ULSI by a novel impurity extraction and ac surface photovoltage methods, Mater. Trans. JIM, 38, pp. 319-325 (1997).
- 90) C. Munakata, S. Okazaki, and K. Yagi: Electron beam enhanced surface photovoltage, Jpn. J. Appl. Phys., 21, pp. L555-L557 (1982).
- 91) H. Shimizu and C. Munakata: Confirmation of aluminum-induced negative charge in thermally oxidized of silicon wafers Using AC surface photovoltage method, Jpn. J. Appl. Phys., 33, pp. 3335-3338 (1994).
- 92) H. Shimizu, H. Uchida, and S. Ishiwari: Confirmation of aluminum distribution in thermally grown oxide of silicon wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 33, pp. 5690-5691 (1994).
- 93) H. Shimizu, H. Wakashima, T. Ishikawa and M. Ikeda: Quantitative estimation of aluminum-induced negative charge region top area of SiO₂ based on frequency-dependent AC surface photovoltage, Jpn. J. Appl. Phys., 46, pp. 7297-7299 (2007).

- 94) H. Shimizu and S. Saitou: Iron-induced negative charge in thermally grown oxide of silicon wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 34, pp. 3071-3072 (1995).
- 95) H. Shimizu and T. Otsuki: Metal-induced negative oxide charge detected by an alternating current surface photovoltage in thermally oxidized Fe-contaminated n-type Si (001) wafers, Thin Solid Films, 520, pp. 4808-4811 (2012).
- 96) B. E. Deal: The current understanding of charges in the thermally oxidized silicon structure, J. Electrochem. Soc., 121, pp.198C -205C (1974).
- 97) B. E. Deal: Standardized terminology for oxide charges associated with thermally oxidized silicon, IEEE Trans. Electron Devices, ED-27, pp. 606-608 (1980).
- 98) R. S. Muller and T. I. Kamins: Device Electronics for Integrated Circuits 2nd edition (New York: Wiley) section 8.4 (1986).
- 99) H. Shimizu and Y. Sanada: Translation from Schottky barrier to atomic bridging-type surface photovoltages in Cr-aqueoussolution-rinsed Si (001) wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 51, pp. 055702-1-5 (2012).
- 100) H. Shimizu and Y. Sanada: Collapse of Cr (OH) ₃/n-Si Schottky barrier and growth of atomic-bridging type surface photovoltages in Cr-deposited n-type Si (001) wafers, Surf. Interface Anal., 44, pp.1035-1038 (2012).
- 101) H. Shimizu, S. Nagase and M. Ikeda: Alternating current surface photovoltage in thermally oxidized Cr-contaminated ntype silicon wafers, Appl. Phys.A, 104, pp.929-934 (2011).
- 102) H. Shimizu, S. Shimada and M. Ikeda: Negative oxide charge in thermally oxidized Cr-contaminated n-type silicon wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 49, pp. 038001-1-038001-2 (2010).
- 103) A. Cros and P. Murei: Properties of noble-metal/silicon junction, Sci. Rep., 8, pp. 271-367 (1992).
- 104) A. Hiraki, E. Lugujjo and J. W. Mayer: Formation of silicon oxide over gold layers on silicon substrate, J. Appl. Phys., 43, pp. 3643 (1972).
- 105) A. K. Green and E. Bauer: Formation, structure, and orientation of gold silicide on gold surfaces, J. Appl. Phys., 47, pp. 1284 -1291 (1976).
- 106) A. K. Green and E. Bauer: Silicide surface phases on gold, J. Appl. Phys., 52, pp. 5098-5106 (1981).
- 107) A. Cros, F. Salyvan, M. Commadre and J. Derrien: Enhancement of the room temperature oxidation of silicon by very thin predeposited gold layers, Surf. Sci., 103, pp. L109-L114 (1981).
- 108) N. Sumida and K. Ikeda: Cross-sectional observations of gold-silicon reaction on silicon substrate in situ in the high-voltage electron microscope, Ultramicroscopy 39, pp. 313-320 (1991).
- 109) Y. Ishikawa, T. Saito and N. Shibata: In Situ transmission electron microscopy observation of Au-Si interface reaction, Jpn. J. Appl. Phys., 35, pp. L796-798 (1996).
- 110) W. J. Kaiser and L. D. Bell: Phys. Rev. Lett., 60, pp. 1406 (1988).
- 111) Z. Ma and L. H. Allen: Phys. Rev., B 48, pp. 15484 (1993).
- 112) J. Biskupek, U. Kaiser, and F. Falk: Heat- and electron-beam-induced transport of gold particles into silicon oxide and silicon studied by insitu high-resolution transmission electron microscopy, J. Electron. Microsc. 57, pp. 83-89 (2008).
- 113) A. Rath, J. K. Dash, R. R. Juluri, A. Rosenauer, and P. V. Satyam: Temperature-dependent electron microscopy study of Au thin films on Si(100) with and without a native oxide layer as barrier at the interface, J. Phys. D 44, pp. 115301 (2011).
- 114) B. Rout, B. Sundaravel, A. K. Das, S. K. Ghose, K. Seikar, D. P. Mahapatra, and B. N. Dev: J. Vac. Sci. Technol., B 18, pp. 1847 (2000).
- 115) A. M. Cowley and S. M. Sze: J. Appl. Phys., 36, pp. 3212. (1965).
- 116) H. Shimizu, A. Kumamoto and S. Imamura: Direct observation of Au nano-clusters at Au/Si interface and enhanced SiO₂ growth due to catalytic action by Au in thermally oxidized au-precipitated n-type Si (001) surfaces, Jpn. J. Appl. Phys., 52, pp. 055702-1-5 (2013).
- 117) S. Imamura: Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, 71, pp. 338 (2005) [in Japanese].
- 118) A. Cros, J. Derrien, and F. Salvan: Catalytic action of gold atoms on the oxidation of Si(111) surfaces, Surf. Sci. 110, pp. 471-490 (1981).
- 119) P. H. Chang, G. Berman and C. C. Shen: J. Appl. Phys., 63, pp. 1473 (1988).
- 120) C. Munakata and H. Shimizu: Fixed oxide charge in n-type silicon wafers studied by ac surface photovoltage technique, Semicond. Sci. Technol., 15, pp. 40-43 (2000)

総合教育編

情動認知が人生満足度および感謝心に及ぼす影響 斉藤浩一*

Influence that emotion acknowledgment exerts on life satisfaction rating and thanks mind

Koichi SAITO*

Abstract

In addition, the emotion can kindly become the motive of the action of the training of the mind and body etc. ..ruined actions such as the suicide, bullying, and eating disorders, creative acts, and others... In addition, the positive emotion and an unpleasant emotion measure the life satisfaction rating and the thanks mind for 1501 university students. It is reet, and it is happy, and sets "Positive emotion" such as "Sense of wellbeing" of safety etc. and perseverance, the motivation, and confidence to positive emotion. And, it is thought that the person is satisfied with the life with they can. On the other hand, feeling uneasy lonesomely, "Depression" such as getting depressed, it is strained, and "Body" such as headaches and insomnias according to Hitoshi's "Uneasiness" and it is set as an unpleasant affect. If anything, man often feels the emotion of the unpleasantness in the life. Naturally, it is thought that an unpleasant affect has the influence of the minus in the satisfaction of the life. Well, if those unpleasant affects are firmly acknowledged when positively thinking about the life, the influence of the plus can be given to the life satisfaction. It is a hypothesis proven by this text. As a result, the one to advocate the meaning that acknowledges the affect in daily life.

Key words: thanks mind, life satisfaction rating, positive-emotion, negative-emotion covariance structure analysis

要 約

情動は、いじめや摂食障害,自殺等の破滅的行動や創造的行為や他者への親切さらに心身の訓練等の行動の動因となりうる。1501名の大学生を対象として、その快情動および不快情動さらに、人生満足度、感謝心を測定する。快情動には、満足、楽しい、安心等の「幸福感」、根気、やる気、自信等の「前向き感」を設定する。そして、それらを持てる時、ひとは人生に満足していると考えられる。一方、不快な情動としては、さびしさ、落ち込み等の「抑うつ」、緊張、はらはら等の「不安」、それに伴う頭痛、不眠等の「身体」が設定される。人間は、人生において、どちらかといえば、不快の情動を感じることが多いのではないか。当然、不快な情動は、人生の満足感にマイナスの影響を持つと考えられる。さて、人生をポジティブに考える時、しっかり、それらの不快情動を認知するならば、人生満足感にプラスの影響を与えうる。それが、本稿で証明する仮説である。それによって、日常の情動を認知する意味を提唱するものである。

キーワード:感謝心、人生満足度、快情動、不快情動、共分散構造分析

はじめに

人間関係のトラブル例えば,社会的排斥により,キレル, 食べられなくなる,不登校または早期退社,引きこもる等, 反社会的行為は,個人というよりは社会的な問題となりう る。一方,現在,災害により,家や食糧に困ったたくさん の人びとの存在および生活が報道されている。そして,そ れを助けようとするさまざまな人びとの善意と感謝の気持 ちも伝えられている。

筆者は,これを世界に誇る価値と捉えている。困った人 を助けようとする心理と感謝する心理,このような善意を 持つ国民は,大きな価値そのものではないだろうか。

では、反社会的行為と善意等の社会的価値はどのような 「心情」から生まれ、バックグランドとなる日々の心情は どのようなものと見ることができるだろうか?これが本稿 の問題意識と位置付けられる。

「感謝」とは、「他者の道徳的行為に対する情緒的反応」 と定義され¹⁾,組織においても、その表出が機能すること が示されている²⁾。よって、人生に満足し、感謝の気持ち を表現できるような人間関係を持てるような社会は、まさ に「天国」と呼ぶに相応しいのではないか。現在の心理学 では、1990年代後半からマーティン・セリグマン³⁾により 提唱され、感謝が幸福感をもたらす要因として論じられて いる⁴⁾。

「自分がこれまで生きてこられたのは,周りのみんなのお かげだ」。そう思えるのは、今までの人生に満足している 人達でないか。では、人生に満足するためには、どのよう な心情で生きていればよいのか。

人生満足度については、1985年にデナーらによって尺度 化されている⁵⁾。それをもとに、情動制御との関連性もす

平成28年6月17日受理

^{*}日本大学工学部総合教育

でに確認されている⁶⁾。

「幸福感」や「前向き感」は、人生満足度にプラスに影響するであろう。しかし、人生は、そのような気持ちより も不快な気持ちの影響の方が大きいと考えられる。例えば、 悲しさ、落ち込み、むなしさ等の「抑うつ」、緊張やはら はら等の「不安」、それらが無意識に蓄積されれば、キレ ルという行動に繋がる。さらに、周りの人間には、社会的 に排斥される可能性もある。

それに伴って、「眠れない」「疲れやすい」「ムカムカす る」等の「身体反応」の不快な心情は、健康・不健康を問 わず、日常一般に現れることも多いのではないか。そして それらは、意識的にも無意識にも、人生満足度を下げてし まう可能性が高い。

対して、「幸せ」に代表される「快情動」は、人間が感 じるプラスの心理であり、快適な「感情」や「気分」に類 似した「心的動き」と定義できる。これに加えて「不快情 動」は、「怒り」「抑うつ」「不安」等であり、心理的スト レス反応⁷⁾⁸⁾としても解釈が可能である。

日本語では同様に、「感情」「気分」という言葉が類似語 として使われている。この二つの中で、精神医学の学術用 語としては「気分」が相当する。これは、精神疾患の代表 的な疾病である「うつ病」における症状として、「うつ気 分」「そう気分」が挙げられ、それらが見られ、病的診断 が不可能な場合に、「気分障害」という診断が付けられる ことが多かったため、現在に至っているのではないか。

しかるに近年の米国における,これらの診断名としては 「情動障害」(emotional disorder)が当てられている。よっ て、本稿でも、「情動」と「気分」を同義に扱うものとする。

さらに、一般社会日常用語としては「感情」が相当する。 「感情」も「情動」と同義に扱われることが多い。ではあ るが、「情動」は自律神経系の変化も伴うものと定義される。 よって、「感情」を一般語、「情動」を学術的用語と見なし、 本稿では、それらの総称として、「情動」を用いることと する。

情動は、何らかの身体へ刺激に応じて起こる身体的変化 を伴い、感情とは、情動により身体的変化を感じ意識した 状態とも捉えられる。すなわち情動は、感覚器官(視覚, 聴覚,嗅覚,味覚,触覚)から情報が入力され、脳がその 情報にもとづき判断を行い、その結果、何らかの変化を生 ずるような情報を身体に出力し、結果として身体的変化が 生ずるプロセスと定義する。それが重要な意味を持つのは、 情動としての「不安」や「抑うつ」や「怒り」さらに「恐 怖」が破滅的な行動(例えば、自殺や暴力、過食等)の動 因(driver)となる点である。

本稿は、心理学に立脚し、ストレス研究の大家であるラ ザルス⁷⁾ にしたがって、心理的ストレス反応に該当する言 葉として、英語での uncomfortable-emotion を「不快情動」 に相当させて訳し使用する。

さらに「幸福感」「満足感」等の快情動は,他者への感 謝による親切やボランティア等のプラス行動の動因になる と考えられる。 また,感謝の言葉として,「ありがとう」が日常的に用 いられる。この「ありがとう」は,相手に対する「感謝」 ばかりでなく「親愛」や「敬意」も示される。そして,そ ればかりではなく,言った自身の心理にも,自分を肯定で きる満足感を醸成できるのではないか。

「人生満足度」は、『幸せを科学する』⁹⁾により、ディー ナーら⁵⁾の5つの項目からなる人生満足尺度(SWLS)を、 筆者が日本の学生に適正な形に改定して、使用する。

また、「感謝心」は具体的には教師のストレス認知的ス キーマ尺度¹⁰⁾の測定から抽出し、心理的ストレス反応に影 響を及ぼし、親や友人に感謝する心理的尺度と定義する。

それらは、「不快情動」をちゃんと受け止めて認識(情 動認知)すれば、人生満足度にプラスに働き、それはさら に、感謝する気持ちに繋がるのではないか。それが本稿で、 検証する仮説である。

つまり、本稿では、そのような不快な情動、快な情動を 認知し、より人生満足度を高め、さらに、感謝心を高める ことを、1501人の学生を対象に調査し、共分散構造分析に よってモデル化し、実証するものである。

それが実証され,青年期の人間関係を中心とする生活上 の行動改善における基礎資料を得られるものと考える。以 上が,本研究の基本的な意図と言える。

高校生や大学生のより充実した生活のために,情動に関 する学習が重要であり,その基礎資料を提示することを最 終的な目的とする。

方 法

1. 調査対象および方法

調査対象は、関東地方および中部地方の大学生(7大学) 1501名である(Table 1)。

調査月日は,年を通じてまちまちであるが,1年生に関しては後期とし,大学生活に馴れた時期を選んだ。

曜日は、休日の直後、直前つまり月・金曜日以外の日に 行うようにし、一斉法により無記名方式で実施した。休日 の直前、直後を避けた。理由は、「不快情動」等は、休日 の直後でストレス反応が高くなり、休日の直前で解放感か ら反応が低くなる等の可能性が存在するためである。なお フェースシートには、学校名と学年、性別のみ記入を求め た。

調査表は7校合わせて1550名回収したが,1箇所でも記 入もれしたものを分析対象から外したため,最終的な調査 対象は1501名となった(Table 1)。

学校1は情報系,2は教員養成系,3は教員養成系,4は 福祉系,5は教員養成系,6は看護系,7は福祉系の大学で ある。性別は,左側が男子,中央が女子,右側が総数とな る。

質問紙は、学年、性別、「快情動」、「不快情動」、「人生 満足度」、「感謝心」等の尺度で構成した。各項目について、 1. ぜんぜんない、2. あまりない、3. 少しある、4. わ りとある、5. とてもある、の5件法で答えるよう要請した。

			男	女	計
学校	1	度数	442	192	594
		総和の %	29.4%	10.1%	39.6%
	2	度数	0	242	242
		総和の %	. 0%	16.1%	16.1%
	3	度数	99	90	189
		総和の %	6.6%	6.0%	12.6%
	4	度数	11	5	16
		総和の %	. 7%	. 3%	1.1%
	5	度数	133	169	303
		総和の %	8.9%	11.3%	20. 2%
	6	度数	0	108	108
		総和の %	. 0%	7. 2%	7. 2%
	7	度数	10	39	49
		総和の %	. 7%	2.6%	3.3%
合計	·	度数	695	802	1501
		総和の %	46.3%	53.7%	100%

Table 1 調查対象

Table 2 「不安」についての成分行列(主成分分析)と項目選択分布

$(\alpha = .78)$		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
		ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
不安である	.764	10.8%	18.1	27.2	24.0	19.9	3.24
気持ちが落ち着かない	.778	26.6	29.4	23.5	13.4	7.1	2.45
びくびくしている	.622	41.0	30.4	14.5	8.7	5.4	2.07
気持ちが緊張している	.687	33.9	34.1	18.0	9.1	4.9	2.18
	59.31%					計	9.94

Table 3 「抑うつ」についての成分行列(主成分分析)と項目選択分布

$(\alpha = .85)$		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
		ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
気分が落ち込む	.832	14.4%	20.7	25.0	20.7	19.3	3.10
悲しい	.818	23.1	29.3	22.9	15.7	9.1	2.59
心が暗い	.809	30.5	29.8	19.2	12.1	8.5	2.38
さみしい	.774	23.5	22.4	21.6	14.7	17.9	2.81
がっかりする	.709	33.4	32.4	20.2	7.8	6.2	2.21
成分寄与率	62.34%						計 13.09

2. 調査材料

「不快情動尺度」:新名ら¹¹⁾ による心理的ストレス反応尺度(PSRS:53項目)から大学生に理解可能と思われる表現方法に改定し,最終的に52項目の中の「不安」-4項目(Table 2),「抑うつ」-5項目(Table 3)を選択し使用した¹²⁾。 さらに,日常で,心理的要素の多い身体的症状を5項目選択し,使用した。

「快情動」:大学2年生42名に,無記名で快適な気分について自由回答式で意識調査を行い,自身を幸福にし,やる気にさせる気持ちはどういうものか,7項目を選択した。

大学生5名に分かりやすいか,妥当かを見当してもらい, 改訂した。

「人生満足度」:上の「不快情動」および「快情動」が影響を及ぼすものとして、「人生満足度」が挙げられる。

『幸せを科学する』⁹⁾より,ディーナーらの人生満足尺度(SWLS)は,以下の5つの項目からなる。本調査では, 大学生に実施するため,次のように改訂を試みた。

 「ほとんどの面で、私の人生は私の理想に近い」→
 「自分の人生を肯定して考えられる」。日本人は、個の 価値観が欧米人に比べて希薄に感じる。そのため、人 生の理想も漠然としており、「親よりも先に死なない」 等,限られたものとなる。お金も「生活に困らなけれ ば」程度であり、理想として持っているとは言い難い。 よって、「自分の人生を肯定して考えられる」に置き 換えた。

- 2 「私の人生は、とてもすばらしい状態だ」→「自分 は総じて幸せである」。同様に、日本人は、人生のす ばらしい状態を身近なものとして感じておらず、強い て、「自分は総じて幸せである」と置き換えた。
- 3 「私は自分の人生に満足している」→「今,生きがいを持っている」。人生への満足という志向が日本人には希薄と考え、現在の心境として、さらに、大学生が被調査者であり、人生を総体として見ることは不可能と考えられる。よって「今,生きがいを持っている」に置き換えた。
- 4 「私はこれまで、自分の人生に求める大切なものを得てきた」→「願っているとおりに生きている」。これも、日本人は、「人生に何を求めているか」、具体的に連想が難しい、また、大学生を被調査としているため、学校生活の目的が入試等への志向へ偏るものと判断される。よって「願っているとおりに生きている」に改訂した。
- 5 「もう一度人生をやり直せるとしても,ほとんど何も 変えないだろう」→「同じ境遇で生まれ変わりたい」。 これは,日本人は自身の選択を意識して生きておらず, 境遇を論じている。そのため,「同じ境遇で生まれ変 わりたい」に改訂した。

「感謝心」:具体的には教師のストレス認知的スキーマ尺度¹⁰⁾から,心理的ストレス反応に影響を及ぼす感謝,また自身を幸せにする可能性があり,肯定できる確信的項目および感謝心項目について,学生6名でブレーンストーミングを行い,「感謝心」4項目を用いた。

結 果

1. 各尺度の信頼性と得点の集計結果

まず各尺度の信頼性を確認するため信頼係数(a係数) を算出し,すべての下位尺度において,不快情動尺度「不 安」、78,「抑うつ」、85,「身体」、72,快情動尺度「幸福 感」、83,「前向き感」、79,「人生満足度」、78,「感謝心」、 86を得た。よって各下位尺度の内的整合性は高く,信頼性 に耐えうるものであることが確認できた(Table 2 ~ 6)。 また,これよりつぎの共分散構造分析によるパス係数を求 めるために,観測変数として合計点を求めることができる と判断した。

なお、a係数の計算式は、ケースiの変数jの得点をXij とし、総ケース数をn、変数jの平均値と不偏分散を \bar{x} j、 Sj²、変数jと変数lの不偏共分散をSjl、個の変数の合計点 Yi (i = 1, 2,..., n)の不偏分散をSy²としたとき、クロ ンバックのa信頼性係数はこれらの諸量により次式で求め られる。

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \sum_{j=1}^{k} S_j^2 / S_Y^2 \right)$$

なお、分析ソフトはSPSS17を使用した。

$(\alpha = .72)$		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
		ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
疲れやすい	.760	11.5	16.9	25.1	22.8	23.7	3.30
頭が重い	.751	36.6	29.2	18.9	9.7	5.5	2.19
ムカムカする	.693	26.2	28.6	22.1	14.3	8.8	2.51
肩がこる	.681	21.6	18.8	19.6	17.1	22.9	3.01
夜よく眠れない	.562	40.8	24.7	15.3	10.8	8.4	2.21
成分寄与率	.48.02					計	13.22

Table 4 「身体」についての成分行列(主成分分析)と項目選択分布

Table 5 「快情動」についての因子パターン行列(主因子法)と項目選択分布

(Kaiser の正規化を	を伴うプι	コマックス回車	云)					
因子	1	2	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
幸福感(α=.83)			ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
満足している	.821	- .034	18.6%	28.1	29.4	17.0	6.9	2.66
安心している	.741	.010	15.5	33.2	30.7	14.5	6.1	2.62
幸福である	.709	.012	10.4	21.0	32.5	21.4	14.6	3.09
楽しい	.657	.097	8.1	18.1	35.6	23.3	14.9	3.19
前向き感(α=.79)							計	11.56
根気が持てる	- .090	.890	11.9	31.9	32.4	15.4	8.4	2.77
やる気が出ている	.076	.728	8.8	27.9	34.0	18.8	10.6	2.94
自信に満ちている	.294	.448	23.4	36.9	23.1	10.0	6.5	2.41
因子寄与率	55.52	13.24	計 68.7	8%			計	8.12

2. 不快情動, 快情動, 人生満足度, 感謝心の関係モデル 「不快情動」は,「不安」と「抑うつ」「身体」から構成 した。「不安」は,「気持ちが落ちつかない」「緊張してい る」「びくびくしている」「不安である」等4項目で構成さ れ, a係数は. 78であり,十分な等質性と整合性が得られ たものとして,合計点数を観測変数とした。

「抑うつ」は、「気分が落ち込む」「悲しい」「さみしい」 「心が暗い」「がっかりする」5項目で構成され、α係数は. 85であり、十分な等質性と整合性が得られたものとして、 合計点数を観測変数とした。

「身体」は「疲れやすい」「頭が重い」「ムカムカする」 「肩がこる」「夜よく眠れない」5項目で構成され, a係数 は、72であり、十分な等質性と整合性が得られたものとし て、合計点数を観測変数とした。

「快情動」は、主因子法によって因子分析を行い、「幸福 である」「満足している」「楽しい」「安心している」等4 項目で構成される第一因子を「幸福感」と命名し、α係数 は、89であり、十分な等質性と整合性が得られたものとし て、合計点数を観測変数とした。

第二因子は、「根気が持てる」「やる気が出ている」「自 信に満ちている」等3項目から構成され、α係数は、79で あり、十分な等質性と整合性が得られたものとして、合計 点数を観測変数とした。

「人生満足度」は、「人生を肯定して考えられる」「今, 生きがいを持っている」「願っているとおりに生きている」 「同じ境遇で生まれ変わりたい」「自分は総じて幸せである」 5項目で構成され、α係数は.78であり、十分な等質性と 整合性が得られたものとして、合計点数を観測変数とした。

「感謝心」は、「将来、親孝行をしたい」「家族を大切に して生きたい」「両親や家族に恩返しがしたい」等3項目 で構成され、α係数は.86であり、十分な等質性と整合性 が得られたものとして、合計点数を観測変数とした。 以上(1.)の調査データの主成分分析,因子分析(主因子法)の結果(すべての主成分,因子のa係数が.7を超えていること)を踏まえて、それぞれの合計点を観測係数(observed variables)として、「抑うつ」「不安」さらに「身体」加えて、以上を「不快情動(心理的ストレス反応)」、「幸福感」「前向き感」を「快情動」、という潜在変数と仮定し、「人生満足度」「感謝心」との間で因果モデルを構成し、共分散構造分析をおこない、構造を明確にするため、パス係数を算出し、それぞれの因果関係を明らかにした(Fig.1)。

当モデルの適合度は,GFI-.993,AGFI-.985と,いず れも高い値を示している。また,RMSEAは.036と十分に 適正な値を示している。したがって,当モデルは標本共分 散モデルを十分に説明していると言えよう。

なお、GFI、RMSEA の計算式はつぎに従った。なお、 AGFI は、GFI の計算の前に、データの自由度の調整を行っ たものである。

$$ext{GFI}= ext{ 1 } - ext{ } frac{ ext{tr}((ext{w}(ext{s}- ext{\Sigma}))2)}{ ext{tr}((ext{ws})2)}$$

S:実際の分散・共分散行列
 Σ:モデルからの分散・共分散行列
 W:重み行列

$$RMSEA = \sqrt{Max\left(\frac{\chi^2 - df}{df(n-1)}, 0\right)}$$

なお、分析ソフトは、AMOS17を使用した。

考 察

本稿の目的は,日常における快情動はもちろん不快情動 の認知によって「人生満足度」,さらに「感謝心」に対して,

Table 6 「人生満足度」についての成分行列(主成分分析)と項目選択分布

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
	ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
.792	7.0%	18.7	34.7	21.4	18.2	3.25
.762	4.6	12.8	26.5	30.4	25.7	3.60
.757	6.4	21.0	29.5	24.1	19.0	3.28
る.720	10.9	30.0	30.3	17.8	11.0	2.88
.717	16.7	22.9	27.4	16.0	17.1	2.94
56.29%)				ゴロ	+ 15.95
	.792 .762 .757 ℧.720 .717 56.29%	[1] ぜんぜん .792 7.0% .762 4.6 .757 6.4 る.720 10.9 .717 16.7 56.29%	[1] [2] ぜんぜん あまり .792 7.0% .762 4.6 .757 6.4 .750 10.9 .717 16.7 22.9 56.29%	[1][2][3]ぜんぜんあまり少し.7927.0%18.734.7.7624.612.826.5.7576.421.029.53.72010.930.030.3.71716.722.927.456.29%	[1][2][3][4]ぜんぜんあまり少しわりと.7927.0%18.734.721.4.7624.612.826.530.4.7576.421.029.524.13.72010.930.030.317.8.71716.722.927.416.056.29%	[1] [2] [3] [4] [5] ぜんぜん あまり 少し わりと とても .792 7.0% 18.7 34.7 21.4 18.2 .762 4.6 12.8 26.5 30.4 25.7 .757 6.4 21.0 29.5 24.1 19.0 3.720 10.9 30.0 30.3 17.8 11.0 .717 16.7 22.9 27.4 16.0 17.1 56.29% 5 5 5 5 5

Table 7 「感謝心」についての成分行列(主成分分析)と項目選択分布

$(\alpha = .86)$		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	平均
		ぜんぜん	あまり	少し	わりと	とても	
将来、親孝行をしたい	.912	2.3%	4.0	13.6	23.6	56.5	4.28
両親や家族に恩返しがしたい	.898	2.1	5.3	15.6	25.9	51.1	4.19
家族を大切にして生きたい	.896	1.9	3.3	12.6	20.9	61.4	4.37
成分寄与率	71.43%	0				言	+ 12.84



Fig.1 情動認知が人生満足度さらに感謝心に及ぼす影響モデル

プラスの影響つまり動因となるという仮説を実証すること である。さらに本稿では、調査により後半の「人生満足度」 が「感謝心」をもたらし、「快情動」、「不快情動(心理的 ストレス反応)」がどのように影響するかをモデル化し、 日常の情動を認知することの重要性に対する提言を行うも のである。

まず、「人生満足度」について見ると、ほぼ40から50% 程度の範囲に、4、5を選択した割合が見て取れる(Table 6)。また、「幸福感」「前向き感」等の快情動、「不安」「抑 うつ」「身体」等の不快情動に関しても、大学生特有の特 徴と解析できる傾向は見いだし得なかった(Table 4 ~ 7)。 つぎに「感謝心」の項目選択分布を見ると(Table 7)、

4 (わりとある), 5 (とてもある)を選択した者の割合が, 各項目とも, 75%を超えている。このことから,大学生は, 日常的に「感謝心」を感じている割合が多いと言えよう。 これについては,大学生が人生の中でゆとりのある時期で あることが伺われる。

また,それぞれその平均をとるための信頼性および整合 性をみる a 係数は,いずれも0.7を超えており,合計点を 持って,構造分析が可能であった。

上の数値を観測変数とし、共分散構造分析を用いてパス 解析を行い、モデル(Fig. 1)を作成した。このモデル図 はGFI, AGFI, RMSEAを算出し、図の妥当性と信頼性 を検証するものであり、データ上での実証性を示している。

つまり結論として言えることは、「自分の人生に対する満 足度」が「自分が幸せである」「満足している」等の「快 情動」である「幸福感」と「落ち込み」や「寂しさ」の 「抑うつ」や「不安」そして「身体」からなる「不快情動」 3つの潜在係数から、プラスの因果関係が見られる点であ る。確かに上の図を見ると、「人生満足度」はともに、有 意度がわずかに低いながら、「不快情動」からプラスのパ ス係数(0.8,1%水準)を有している。

これに対しては、「快情動」にしろ「不快情動」にしろ, 深層に共存するものであり、それを意識上で認知すること が重要性であると言えまいか。

特に,不快情動は,認識されず制御されなければ,破壊 的行動の動因となる可能性が高い。人間関係のコミュニ ケーション場面において,「抑うつ」「不安」「身体」の状 態が高ければ,笑いながら円滑な言葉を発することは難し い。今後の未来を左右する試験を控え,虚しく,緊張し, 胃がムカムカしている状況を想像すれば,友達の言葉に耳 を傾け,笑いながら話すことは,とても難しい。

しかし、コミュニケーション場面において、相手がその 状態を理解していなければ、相手に怒りが喚起され、攻撃 性を増し、喧嘩になることも想定されよう。さらに、その ような状態が重なれば、絶縁状態になることも十分考えら れる。それが新しいストレッサーとなり、「恐怖」と「抑 うつ」等により、「引きこもり」になる。長引けば、就職 や結婚に影響することも考えられる。

「情動制御」は「情動表現や内面の気持ちをコントロール, 管理,調整できる能力」と定義される^{13).14)}。コントロール, 管理,調整がなされる場合,その存在を認識すること(認 知)が前提となる。つまり,本質問紙において,不快情動 を測定し,チェックすることは,情動制御の過程に踏み込 んでいるのではないか。よって,不快であっても,情動を 認知することが人生満足度にプラスの影響を及ぼすと考え られる。

情動から行動の制御を見た場合,大きく2種類の人間が いる。初めの1種類は,刺激による情動を制御できず,決 壊した防波堤から流れ出た洪水のように,他者に対して怒 り, 妬み等で「いじめ行動」をしてしまう者である。もう 一種は,溜め込んだ情動をうまく制御し,他者に迷惑をか けるどころか,昇華し,エネルギーに変え大きな生産を行う者である。これについては,コミュニケーションの大切な場面で働く。1995年ゴールマンが「EQ -こころの知能指数」という本を出版し,人生あるいは職業における成功は知能検査で測定されるような知能(IQ)ではなく,情動的知能によって決定されると強調した。

例えば、いじめや体罰から自殺に至る悲惨な事件から、 学校に行けなくなる「引きこもり」「不登校」等の状態も あれば、一過性の落ち込みの状態で済んでしまうものまで ある。

事件となる刺激と行動結果であるそれらの反応の間には, 因果関係が存在する。しかし,その間に必ず情動と呼べる 動的な心理状態が存在するのではないか。しかし,それら は,事件となる反応が起こってしまった結果を反省しなが ら思い当たるものであることが普通である。つまり,刺激 と行動の間にある情動の動きを認知できない場合がある。

ここでの「刺激」とは、環境の変化と定義できる。つまり、現在言われる KY と呼ばれる人格像は、刺激の存在に 気づかず、周りの人びとが情動にも変化を来していること とずれている場合とみることもできる。

本稿では、もし、その場面での環境の変化と心の状態を 当事者が知覚し、対処できたならば、事件は防げるのでは ないかという仮説を提示した。

例えば、わが国の教育史上もっとも悲惨な「大河内君の いじめ自殺事件」を例にとれば、始まりは、大河内君を取 り巻く少年たちが、夏休み中の家族旅行の写真を見たこと と言われる。帰り道が一緒だった少年たちは、始業式で早 く帰り、大河内の家に寄った。そこで見たものは、大河内 君一家がオーストラリアに旅行し、彼がコアラを抱いた写 真だった。そこから、2 学期の間、悲惨ないじめが始まった。

彼を買い物に行かせたりする「パシリ」、プロレス技を 無理やり掛けたり、川に突き落とし、上がろうとする手を 踏みつける等、「執拗な暴力」、さらに、おばあちゃんのお 金を持ってこさせる「金銭強要」等、暴挙はエスカレート していったという。そして、ついに大河内君は、「生き地 獄になっちゃうよ」という遺書を残し、自らの命を絶った。

いじめをした少年たち,その時の情動を想像すると,海 外旅行に行ける「羨望」と「なぜこいつだけ」という「敵 意」の入り交じった「妬み」が想像できる。

また,大河内君の情動を想像すると,自分がいじめられ る「怒り」「絶望感」,対して,「理不尽に言うことを聞い ている」「お金を取る」等からくる「むなしさ」「悲しさ」 等の「抑うつ」,そして「これからどうなるか判らない, 恐怖感」が想像できる。

もし,彼らが「それらの情動」を認知し,いじめの行動 を取らなければ,このような悲惨な事件にはならなかった のではないか。

逆には、大河内君の自殺の行動に、こうすればという仮 定を言いづらい。しかしながら、いじめをしている彼らの 心性が妬みや怒りの情動であり、発達段階の一過性のもの であり、話せる大人や別の友人がいたとするならば、この ような悲惨な状況での自殺は防げたのではないか。もし大 河内君の行動に悔やむことがあるとすれば、いじめが起こ る誘因となった旅行の写真を見せたことのみである。つま り、自分の家が裕福であることは、相手に妬まれることが ある、その認識があれば、救われた可能性があるのではな いか。

以上のように,不快情動を制御できず,攻撃的行動に至 る関係を地獄とすれば,それを認識し,管理コントロール できれば,人生満足度が上がり,感謝の心情で過ごせる関 係ができる。それはまさに天国と言えまいか。

情動を認知することは、制御し、行動を左右することに 繋がる、その意味の重要性を提示することが本稿の目的で ある。その点に関しては、十分意味があったと考えられる。

展 望

「人生満足度」に関しては、感謝心の動因となることが、 本稿で実証できた(Fig. 1)。

よって,人生に満足し,感謝の気持ちを表現できるよう な人間関係を持てる社会は,まさに「理想郷」と呼ぶに相 応しい。現在の心理学では,1990年代後半からマーティン・ セリグマンにより提唱されたポジティブ心理学³⁾において, 感謝が幸福感をもたらす要因として論じられている⁴⁾。今 後の学校教育における道徳や特別活動においても,情動や 人生満足度,さらに感謝心について教育するカリキュラム を整備する必要性が求められる。

情動そのものが深層心理にあり,無意識にも存在すると 解釈される。さらに,心の動きが脳内で作動されるとした ら,知・情・意のうち,知は前頭葉の全面の働きであるの に対し,情は脳幹に近い深層での動きと解釈される。この アンケート調査の実施は,その脳幹に近い深層にある情を 前頭葉において認知することを提言することである。つま り,脳の深層には,快・不快の両方が存在しており,知で 認知されるのはどちらかであり,一方のみが出てくると解 釈される。それを両方認知し,抑えることができる能力の 獲得が課題となる。

実際,社会的排斥の実験研究において,いじめ現場での 「ハブ」「シカト」というような集団社会から排斥される場 面では,不快な情動の認知がほとんど見られないことが報 告されている¹⁵⁾。つまり,排斥体験の被験者は,感情体験 を遮断する情動麻痺(Emotional Numbness)を起こして いると結論付けられている。

私たちは、社会生活上、さまざまなネガティブな刺激が ある。その時、不快な情動を遮断するような防衛規制が働 いている可能性は充分にある。しかし、ネガティブな刺激 や不快な情動は無意識に蓄積し、やがて、行動(起き上が れない、家から出られない等)に現れる可能性も充分にあ るのではないか。

このような知見に立って、「安心している」「穏やかな気 持ちか」等の快情動と不安や抑うつ、身体等の不快情動に ついての教育の必要性が確認できよう。

さまざまなライフイベントを見ると、結婚や出産は幸福

感をもたらすが,マリッジブルーやマタニティブルーと呼 ばれる不快な情動も伴う。離婚や近親者の死も抑うつや不 安という不快情動に支配されるが,人生へのピリオドを打 てたという意味では,気持ちを納得させることができると 解釈できる。

心理的治療の現場では、「マインドフルネス」という手 法が有効と言われている(ヒューマン ウェルネス イン スティテュート)¹⁶⁾。これは、自分の身体や気持ち(気分) の状態に気づく力を育む「こころのエクササイズ」と呼ば れる。「マインドフルネス」とは、「今この瞬間」の自分の 体験に注意を向けて、現実をあるがままに受け入れること と定義できる。マインドフルネスを実施すると、ストレス フルな場面においても否定的な感情や物事にとらわれ飲み 込まれることなく、いつでも自分を取り戻すことができる ようになると言われる¹⁷⁾。

よって, 無意識にも存在する快・不快の情動を意識下に 置く教育は, 破滅的な行動を抑制し, 建設的な行動に転換 する心的過程を学び, 実践できるようになる可能性を有す る。

それはまさに、人間的な成長とも呼びうるものと解釈で きる。

文 献

- McCullough, M. E., Kilpatrick, S. D., Emmons, R. A., & Larson, D. B. 2001 Is gratitude a moral affect? Psychological Bulletin, 127(2), 249-266.
- 池田浩 2015 組織における「感謝」感情の機能に関する 研究 Transactions of the Academic Association for Organizational Science. 4(1), 120-125.
- Seligman, M. E. 2003 Authentic Happiness. Nicholas Brealey Publishing LTD. マーティン・セリグマン著,小 林裕子訳 2004 『世界でひとつだけの幸せ』アスペクト社
- 4)望月文明 2011 感謝と幸福感-近年のポジティブ心理学の研究から-モラロジー研究. 68, 31-44.

- 5) Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J., & Griffin, S. 1985 The satisfaction with life scale. Journal of Personality Assessment, 49, 71-75.
- 6) 酒井久美代2013 日常生活の中で生じるフォカシング・プロセスによる感情制御と人生満足度との関連-感情プロセス認識尺度第2版による検討 パーソナリティ研究. 22(1). 80-83.
- 7) Lazarus, R. S. 1993 From Psychological stress to the Emotions : A History of Changing Outlooks. Annual Review of Psychology, 44. 1-21.
- 8) 岡田佳子 2002 中学生の心理的ストレス・プロセスに関 する研究:二次的反応の生起についての検討 教育心理学 研究, 50, 193-203.
- 9)大石繁宏 2011 (http://www.shiawasehp.net/diary/201109 /03.html)
- 10) 斉藤浩一 2002 教師の内観的スキーマがストレスに及ぼ す影響 内観研究. 9, 19-25.
- 新名理恵・坂田成輝・矢富直美・本間昭 1990 心理的ストレス反応尺度の開発 心身医, 30, 30-38.
- 12) 斉藤浩一2000 学校ストレスへのシステム的アプローチ 風間書房
- Matumoto, D., Yoo, S., Hirayama, S., & Petrova, G. 2005 Dvelopment and initial of a measure of display rules : The Display Rule Assessment Inventory (DRAI). Emotion, 5, 23-40.
- 14)明石聡子2007 大学生の情動制御と精神的健康との関連-情動制御尺度(国際適応力尺度)の有効性について-人間 文化創成科学論叢,10.309-317.
- 15) 押見輝男 2015 社会的排斥についての研究ノート(Ⅲ) - 情動および情動制御の実態 – Rikkyo Psychological Research. 57, 87-99.
- 16) ヒューマン ウェルネス インスティテュート 2016 (http://www.humanwellness-institute.org/mindfulness. html)
- 17) 杉浦義典 2008 マインドフルネスにみる情動制御と心理 的治療の研究の新しい方向性 感情心理学研究. 16(2), 167-177.

中学生のボランティア動機づけに及ぼす情動認知の影響 斉藤浩-*

The Influencing from Emotional Cognition to Student's Volunteer Motivation on Junior High School

Koichi SAITO*

Abstract

This text aims to find the technique of the motivation to the volunteer. The respondent to a survey made it to 373 junior high school students. A psychological scale is standardized by volunteer work. Both positive and negative emotions are effective the motivation to the volunteer. Power to search for the emotion in a word proves in the intention of the volunteer work and the hypothesis of influencing it is proven to the plus. As a result, a psychological model the volunteer work is promoted and developed. It is the one to present the tool that makes the volunteer work active.

Key words: volunteer work, volunteer motivation, positive or negative emotions, emotional regulation, emotional cognition

要 約

本稿は、ボランティア活動に対する動機づけの手法を見いだすことを目的とする。調査対象者は、373 名の中学生とした。本稿では、ボランティア動機づけの心理的尺度を構成する。快・不快の情動の認知は、 どちらもボランティア活動の動機づけにプラスに影響する。つまり自身の情動を探求する力がボランティ ア活動の志向にプラスに影響するという仮説を証明する。それによってボランティア活動を推進する上で の、心理的モデルを開発する。ボランティア活動を活発にするツールを提示するものである。 キーワード:ボランティア活動、ボランティア動機づけ、不快情動または快情動、情動制御、情動認知

1. はじめに

「情けは他人(ひと)のためならず」という諺がある。 今まで,誤ったものと正しい解釈が採られてきた。誤った ものには,「ひとに情けをかけるのは自立の妨げになり, その人のためにならない」というもの。対して正しいもの としては,「他人(ひと)にかけた情けは巡りめぐって自 分に返ってくる,自分自身のためになる」という解釈であ り¹⁾,現在も,これが主流と考えられる。さらに本稿では, 「情けは,他人のためにも,自分のためにも行うものであり, 自分自身を豊かにするものである」という解釈を提示する。

つまり,ボランティアを自主的に行うとする意志や行動 が,自分自身を豊かにすると考える。ボランティアをする ことによって,感謝され,一緒にやる仲間とも連帯感を持 つという社会的満足感が得られる。しかし,それらが得ら れなくともボランティアを志向する意志や気持ち,行動は 自主的であり,価値のあるものと考えられる。

実際,近年起こった阪神大震災や東日本大震災,熊本大 震災では,多くの情けを具現化するべくボランティア活動 が行われている。それらは自主的であり,何か見返りを期 待したものではない。そのような志向が情けの根本である

平成28年6月17日受理

情動とどう関係するか,中学生を対象として,仮説を設定 し,検証し,教育に関する社会的提言を行うものである。

ここでのボランティア活動に至る根本の「情け」とは、 情動(emotion)と感情(affection)の2つの側面を持っ ている。さらに、情動とは、身体の変化を伴う感情の底に も存在する情の変化であり、それを幸せや楽しさ、怒り、 悲しさ等、言語的に表現したものを感情と定義する。さら に、ボランティア活動という行為の動因として、「ボラン ティア動機づけ」と定義する。

本稿のモデル構築において検証する仮説は、「これら快· 不快の情動が動因としてのボランティア動機づけに影響す る」というものである。それらの情動認知があり、困って いる人々に対するボランティア動機づけが生まれるものと 想定する。

すでにわが国では、少子高齢化が進行し、経済格差も窺 える。その中で、他人を助けようとする志向は、国家の品 位に象徴される民度を測定する指標として最も重要と言え まいか。つまり、高齢者に限らず、障害者や経済的弱者、 さらに幼児や乳児にさえも援助を必要とする他者に対して、 手を差し伸べようとする志向と行動が最重要課題となって いる。ここで問題とする「ボランティア動機づけ」は、今 後の社会において、それを高めることが、民度の指標の大 きな要件と認められる。

^{*}日本大学工学部総合教育

今後のわが国も、「所得格差」や「未婚率の向上」と繋 がり、国家の総所得の低下と少子高齢化をより増大させて いく一因となる。さらに、そのような社会構造は閉塞感と して蔓延し、若者の意欲をはぎ取って行く、さらに社会的 志向を減少させるという悪循環に繋がっていく可能性があ る。

特に,青少年の生活のストレッサーの逆転項目となる「社 会的効力感」を、それを持っているものが「幸福感」や 「快活感」等の快情動をもたらし、対する「不安」「抑うつ」 「妬み」等、不快情動の尺度を明確にし、それを「ボラン ティア動機づけ」等の主体的な要素との関係構造モデルを 作成する。

それによって,自信の内面に発生する「不安」や「抑う つ」「妬み」を持ちながらも反社会的行動として発現する のではなく,内面で収束させるか,反対に「不安」 – 「希 望」,「抑うつ」 – 「やさしさ」のように,心理的に読み替 える技術を開発し,提供する。さらに,「幸福感」「快活感」 等についても,これまで尺度化されたものはないため,実 態を捉え,生徒が喚起していく資料と技術の開発を目指す。

金子²⁾は「『ボランティア』を『ボランティア活動』, 『ボランティア活動をする人』,そして『ボランティア活動 をすることの背後にある考え方』など,自発性を共通項と する,行為,人,概念を表現するもの」と定義している。 ならば,企業就労と並列する活動であり,退職後も「生き がい」を見出しうる重要な要素と言えよう。

しかるに、わが国では、その志向の浸透が不十分と言わ ざるを得ない。それが自殺者の現状にも現れていると言え る。ならば、企業社会でも、ボランティア動機づけが醸成 および浸透されてしかるべきであり、メンタルヘルスを担 う産業カウンセラーの職務と言えよう。

本研究では、すべてのボランティア活動への志向を「ボ ランティア動機づけ」と定義する。それを支える日常生活 における対人関係の「快活感」や「幸福感」の影響につい て、中学生に対して質問紙を用いた調査を行い、共分散構 造分析により因果モデルを構築し、社会において、ボラン ティア動機づけをどのように浸透・醸成させるか、基礎資 料を得るものである。

ボランティアの隆盛は福祉教育の分野だけでなく,道徳 教育や特別活動,キャリア教育,環境教育にも関わり,「社 会」「理科」等の教科における横断的分野である。

特に,福祉教育については「生きる力」の核となる豊か な人間性が重要ではないか。「他人を思いやる心や社会貢献 の精神」や道徳の内容構成における「主として他の人との かかわりに関すること」(相手への思いやり,助け合い, そして感謝する心の大切さ)「主として集団や社会とのかか わりに関すること」(集団のルール,役割や責任,集団や 社会に親しむ心)が挙げられている³⁾。これらの豊かな人 間性や内容構成は,子ども達に奉仕活動やボランティア活 動の体験と合致する。さらに「癒し」「感謝する心」等の 道徳的な価値としても捉えられる。

もちろん特別活動領域においても、ここでの奉仕活動や

ボランティア体験(学習)は、非常に重要な期待を持たれ ているのではないか。例えば、ボランティア学習が児童・ 生徒の全人格的な成長に寄与するという点や自主的・実践 的な態度を育成するという点など、特別活動の意義や目標 を具現化する実践としての機能を有する点である⁴⁾。

よりよく生きる力の自覚は、幼児期から可能である。す なわち、快、不快の感情が認知できれば、それを基準にし て、行ってよいことと悪いことに気づく。快の感情をもた らす行為ができるのは、よりよく生きようとする力がある からである。成長するにつれ、理性や内省する力などが加 わり、内面的・共感的な道徳的心情を発達させ、自らより よく生きる力を伸ばしていくことができる。これは、ボラ ンティア活動を行うためによりよく生きる力が必要であり、 快・不快の感情の認識が有効であると解釈できよう。

ここで「情動」とは人間が持つ「怒り」「不安」等の心 理的動きであり,感情とはそれを認知したものと定義する。 言い換えれば,ボランティアを志向する心理は,子ども達 の快・不快の情動を感情という形で認識することによって 高まるという仮説が成り立つ。例えば「社会力」について も,自分が立場や行動の底でどのように感じ,考えている かを知り,他の人もこのように感じ,考えるというように 想像する力であると言われている。また,人は自分の行動, あるいは反応のしかたを決定するのに,他者の精神状態に ついての推測を基にしているのではないか。ならば,ボラ ンティアを志向する心理は,自身の心理を探索することに よって培われる他者の気持ちを想像する力によって形成さ れると考えられる。

さらにボランティア活動および学習は,計画(P)と実施 (D)と評価(S)のサイクルで成り立つというモデルが効果 的であると言われる⁴⁾。その観点から言えば,そのサイク ルのすべての場面において,このような情動の認知が重要 である。

特に本稿では、計画段階に入る前の「ボランティア動機 づけ」という心理的尺度を提示する。それに快・不快の情 動の認知は、どちらもボランティア動機づけにプラスに影 響する。つまり自身の情動を探求する力がボランティア動 機づけにプラスに影響するという仮説を証明する。それに よってボランティア活動を推進する上での、心理的モデル を開発し、ボランティア社会を実現するツールを提示する ものである。

2. 調査対象および方法

2-1 調査校の特質および被調査者

被調査校である A 中学校は関東圏の田園地帯に位置し, のどかな旧住民と新住民が入り交じり,生徒指導困難校の 指定を受け,生徒指導専任教員の加配も受けている。その ような状況の中で,教員は生徒指導に熱心な感がある。例 えば,「クラス対抗校内陸上競技大会」「文化祭」「体育祭」 「合唱コンクール」「3年生を送る会」等の校内行事,宿泊 学習である「スキー体験学習」「宿泊学習」「修学旅行」等, 1,2,3年生時に熱心に取り組まれている。 ボランティア学習としては、地域の清掃活動に年1日の 朝2時間取り組むまたは「職場体験学習」として「養老院」 「病院」「幼稚園」等で福祉の仕事を体験する者も多い。

「総合的学習の時間」では、特別にボランティアや福祉 を課題に挙げてはいないが、学級の班によっては選択され ている程度である。特別なボランティア活動推進校には指 定もされていない。また、全校生を対象として、学級ごと に一斉方式で実施した。新入生に情報中毒およびストレス 反応を、翌年のほぼ同時期に、両学科について同日のほぼ 同時間に調査した。なおフェースシートには、性別、学年 のみ記入を求めた。

A 中学校は,生徒数400名,1学年4学級の中堅校である。 2008年の10月に協力を依頼した。調査票は,合わせて373 名回収した(Table 1)。有効回答率は,93.3%である。

Table	1	調査	ē者分布
男子 女子	187 186	(50. (49.	1%) 9%)
1年生 9年生	108	(29.	0%)

- 2年生 133 (35.6%) 3年生 132 (35.4%)
- , , ___ 105 (00; 1/0)

計 373(100%)

2-2 調査材料

- (1) ボランティア動機づけ:中学2年生37名に,無記名で ボランティアについて,自由回答式で意識調査を行い, 6項目を選択した。中学生5名に分かりやすいか,ボラ ンティアをやる気持ちとして妥当かを見当してもらい, 改訂した。
- (2) 心理社会的(家庭と友人,対教師に関する)効力感: 斉藤⁶⁾が標準化した中学生のストレッサーについて,意味の逆転を行い,家庭(4項目),友人関係(4項目) を選択し,使用した。これも中学生5名に分かりやすいか,対人的な気持ちとして妥当かを見当してもらい,改訂した。ラザルス⁵⁾は,ストレッサーとして,日常的混乱(daily hassles)として,友人関係が負担であるとか,成績が思うように伸びない等,ケンカをしたこと,テストで悪い点を取ることより心理的負担が大きいことを著した。ここでの心理社会的効力感は,混乱のない状態を顕す指標と言える。
- (3) 中学生の快情動尺度:中学2年生37名に,無記名で快 適な気分について自由回答式で意識調査を行い,12項目 を選択した。中学生5名に分かりやすいか,ボランティ アをやる気持ちとして妥当かを見当してもらい,改訂した。
- (4) 中学生の不快情動尺度:斉藤⁶⁾が標準化した中学生の 心理的ストレス反応について、不安(4項目)、抑うつ (5項目)、妬み(5項目)を選択し、使用した。ストレ ス心理学の権威であるラザルス⁷⁾は、「妬み」⁸⁾は心理 的ストレス反応および不快情動として解釈できることを

著した。これも中学生5名に分かりやすいか,対人的な 気持ちとして妥当かを見当してもらい改訂した。

上記尺度は, まったくあてはまらない(1点), いくら かあてはまる(2点), かなりあてはまる(3点), とても あてはまる(4点)の4段階で評定するよう求めた。

3. 結果および考察

3-1 ボランティア動機づけに関する因子パターン行列 (主因子法、プロマックス回転)

中学生373名を対象とした。ボランティア志向6項目について、それらが尺度としての1つの固まりであるかを確認するため、因子分析(主因子法、プロマックス回転)を行った。さらにそれが、信頼性を有しているかを見るため、 a係数を算出した(Table 2)。結果、寄与率が66.4%と1 因子構造であった。また、a係数も.90と.70を大きく超え 十分な値であり、尺度としての内的整合性、および信頼性 を確保できたものと判断した。

Table 2 中学生のボランティア動機づけに関する因子パ ターン行列(主因子法,プロマックス回転)の作成

ボランティア動機づけ(α=.90)	
お年寄りや障害者を助けたい	. 861
困っている人を助けたい	. 852
世の中の役に立ちたい	. 808
ボランティアや福祉に興味がある	. 792
他の人のために仕事がしたい	. 786
公共の場のごみ拾いや掃除をしたい	. 783
寄与率	66.4%

3-2 中学生の心理社会的効力感に関する因子パターン 行列(主因子法、プロマックス回転)

中学生373名に対し、心理社会的効力感8項目について、 それらが成分構造と信頼性を有しているかを見るため、因 子分析(主因子法、プロマックス回転)を行った。さらに α係数を算出した(Table 3)。結果、2因子構造であり、 それぞれ家族関係(a = .80)、友人関係(a = .75)と命 名した。α係数も.80.75と.70を超えており、十分な値で あり、尺度としての内的整合性および信頼性を確保できた。

Table 3	中学生の心理社会的	(家庭と友人,	対教師に関す
	る) 効力感の因子パタ・	ーン行列 (主因	子法, プロマッ
	クス回転)の作成		

家族関係 (α=.80)			
家族が自分を理解している	.821	.000	
家族と一緒にいるのが好きだ	. 809	.000	
家庭で落ちつける	. 773	.000	
親から信用されている	. 754	.000	
友人関係 (α=.75)			
友人が自分を理解している	. 000	.851	
友人が自分を信用している	. 000	. 790	
自分は一人ぼっちではない	. 000	.720	
クラスの居心地がよい	. 000	. 677	
因子寄与率	41.39	19.15	計 60.54(%)

3-3 中学生の快情動に関する因子パターン行列 (主因子法,プロマックス回転)

肯定的情動12項目について、それらが成分構造とそれら が信頼性を有しているかを見るため因子分析(主因子法、 プロマックス回転)を行った。さらに a 係数を算出した(Table 4)。結果、2 因子構造であり、それぞれ、「幸福」「安 心」「満足」ゆったり」「充実」という情動項目群から幸福 感(a=.86)、「ワクワク」「ウキウキ」「やる気」「楽しい」 「スッキリ」「元気」という情動群を総称して快活感(a =.87)と命名した。a 係数も.86.87と、70を超えており、 十分な値であり、尺度としての内的整合性および信頼性を 確保できたものと判断した。

Table 4 中学生の快情動に関する因子パターン行列 (主因 子法、プロマックス回転)の作成

幸福感 (α=.86)			
幸福である	.817	. 000	
安心している	. 795	. 000	
満足している	. 792	. 000	
ゆったりとしている	. 737	101	
落ち着いている	. 687	. 000	
充実している	. 644	. 173	
快活感(α=.87)			
ワクワクしている	. 000	. 877	
ウキウキしている	. 000	. 843	
やる気が出ている	146	. 839	
楽しい	. 122	. 673	
スッキリしている	. 216	. 612	
元気である	.217	. 575	
寄与率 (%)	40.21	16.21	計 56.42

3-4 中学生の不快情動に関する成分パターン行列 (主成分分析)の作成

不快情動について,これらはすでに標準化された尺度と して,それぞれについて因子分析(主成分分析)を行った。 さらに a 係数を算出した(Table 5)。それぞれ1因子構造 であり, a 係数も.72.83.80と.70を超えている。十分な 値であり,尺度としての内的整合性および信頼性を確保で きたものと判断した。

 Table 5
 中学生の不快情動に関する成分パターン行列 (主成分分析)

不安(α=.72)		抑うつ (α=	. 83)
不安である	. 787	気分が落ち込む	s.814
気持ちが落ち着かない	. 761	さみしい	. 790
びくびくしている	. 751	悲しい	. 787
気持ちが緊張している	. 653	心が暗い	. 744
寄与率	54.68%	がっかりする	. 684
		寄与率	58.54%
妬み (α=.80)			
誰かに妬みを感し	じる	. 859	
他の人が憎らしい	١	. 799	
他の人に嫉妬を履	感じる	. 774	
他の人がうらやる	もしい	. 645	
誰かにいじわるを	としたくなる	. 639	
寄与率	55.99%		

3-5 社会的効力感が快・不快情動及びボランティア志向 に及ぼす影響

次に「心理社会的効力感」が「快情動」「不快情動」さらに「ボランティア志向」にどのように影響するか,共分 散構造分析を用いてパス解析を行った(Fig. 1)。

A 中学校の生徒 (373名) に対して,上で明らかにした各 因子を下位尺度とし, *a* 係数が.70を超えていることから整 合性があると判断し,平均合計得点を算出した。それらを 観測変数 (observed variables) とした。

まず,ボランティア行動の主な心理的動因と考えられる 「ボランティア志向」という名の観測係数を設定した。次 ぎに「友人関係」「家庭」を観測係数とし,「社会的効力感」 いう構成概念を設定した。また構成概念「快情動」の主な 観測変数として「幸福感」「快活感」と命名した。最後に 「妬み」「不安」「抑うつ」の観測変数から「不快情動」と いう名の構成概念を設定した。

結果,「心理社会的効力感」が「各情動」及び「ボラン ティア志向」に及ぼす影響について,パス係数を算出し,



Fig.1 中学生のボランティア動機づけに及ぼす社会的肯定感,快情動,不快情動の影響モデル

それぞれの因果関係を算出した(Fig. 1)。

上のモデルの適合度は,GFI (Goodness of Fit Index) -0.982, AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index) -0.962 といずれも高い値を示している。また,RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)は0.041と十分に 適正な値を示している。したがって,モデルが標本共分散 モデルを十分に説明していると結論付けられる。

このモデルには2つの流れが存在する。1つは、家庭や 友人関係が良好な生徒達であり、それらの生徒は幸福感や 快活感等肯定的情動も高く、さらにボランティア動機づけ も高い。つまり、生徒が家庭や友人関係の良好さを認知し、 幸福感や快活感を十分に認知すればボランティア動機づけ も高まるという構図である。

いたって当然と言える結果かもしれない。いままで,数 値を用いた検証がされなかったという点では意味を有する。

しかし, もう1つの流れは, 非常に大きな意味を持つ。 家庭や友人関係が良好でない生徒達, それらの生徒は幸福 感や快活感も低くなる。しかし, それらを十分に認知すれ ばボランティア動機づけは, 高くなるという結果である。 つまり, 家庭や友人関係が良好でないという逆境にある生 徒であっても, 「妬み」「不安」「抑うつ」等不快な情動を 十分に認知, 噛みしめれば, ボランティア動機づけも高ま るという構図である。

不快情動が性別,特に女生徒に高いという有意な結果が 出た。これは,不快情動に対する認知力が女生徒の方が男 子生徒より高いと解釈できる。悲しみや不安等の情動に, 女生徒が高い感受性を有していることは,経験的にも納得 できよう。

以上,自主的かつ実践的態度は,ボランティア学習には 不可欠な要素であろう⁴⁾。ここでのボランティア動機づけ は,ここでの自主的かつ実践的態度とほぼ近似している。 ならば,家庭や友人関係の善し悪しに関わらず,情動を認 知することにより,ボランティア動機づけは高められると いう仮説が実証できたことになる。

4. 結論および展望

学校が場を提供するボランティア学習や、本人が場を獲 得するボランティア活動においても、ボランティア動機づ けは中核的意味があろう。

本稿で挙げたボランティア動機づけは,社会と関わろう とする意欲および態度の基盤となる。では,どうやって高 まるのか。

友人関係や家庭環境等社会肯定感が良好な児童・生徒は, 日常的に充実感や快活感を味わい,積極的に社会参加を行 う。その論理から言えば,ボランティア活動等の社会参加 の意義の理解を深めるために,エンカウンターやソーシャ ルスキルトレーニングを取り入れ,心理社会的効力感や快 的情動を高めるという指導がなされる。確かにその流れは, 教育および子どもの発達に則したものと言えよう。

しかし,そのベクトルのみに固執することは,人間社会の実態および本質から離れた総花的空虚感を持たせられる。

人間は家庭や友人関係に恵まれない個人と,個人であって も逆境にある時間があるのではないか。

家庭や友人関係に恵まれない逆境の中で,人間は寂しさ やむなしさ等の抑うつ,緊張やびくびくした感じの不安, 他者への羨望と敵意から構成される妬み等を感じざるを得 ない。それでも自分の境遇を受けいれ,それらの情動をじっ と噛みしめ,味わうことによりボランティア志向という価 値を得ることができる。それが本稿の結論である。

学校現場では、さまざまなことに成功した時に幸福感や 快活感を実感すること。逆に失敗や危機を持つ状況での不 安や抑うつ、妬み等を実感し、味わい、非社会的態度や行 動の動因とならないようにする力を得るために、メタ認知 力を得ることが大切である⁹⁾。つまり自身の境遇や情動を ありのまま見る実践が有効であり、本稿の各尺度はそれら を測定および評価するツールとなろう。

しかるに,現代人は情の動きを認知する,つまり感じる 時間と内面を見つめる術を知らない場合がある。今こそ情 動についての教育が必要と言えよう。

斉藤⁹⁾は、人間が生きていく上で、「妬み」や「抑うつ」 「不安」を持たずに過ごすことはできない、ならば自身で それらを認知し、マネージメントしていくことに意味があ る、と強調している。また学校全体をシステム的に捉え、 心理的ストレス反応(情動)としてのそれらによる問題状 況を克服するアプローチ¹⁰⁾の重要性を提示している。

さらに、最近の心理療法の中で、情動制御(emotional regulation)が1つの流れになっている。例えば、社会的 排斥¹¹⁾つまり学級内で行われる「シカト」「ハブ」という いじめ行為に伴い、する側に情動が動因となってそのよう な行為が行われることが言われている。情動を制御する知 識と技術の教育が必要であると、示唆される。

実践と測定および評価は,ボランティア社会実現の不可 欠な要素であり,本研究がそれらに寄与できることを願う ものである。

謝 辞

本稿を執筆するにあたって,調査に協力していただいた A 中学校の生徒のみなさんと先生方にお礼を申し上げたい。

注および引用文献

- 1) 広辞苑 2008 岩波書店 2084頁
- 2) 金子郁容 1992 『ボランティア-もう一つの情報社会-』 岩波新書 2頁
- 3) 文部科学省2008 中学校学習指導要領解説 道徳編 (http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/__icsFiles/afieldfile/2015/03/27/1282846_02.)
- 長沼豊 1997 特別活動におけるボランティア学習の意義
 について 特別活動学会紀要, 6,23-34.
- 5) Lazarus, R. S. 1966 Psychological stress and coping process New York : McGraw Hill
- 6) 斉藤浩一 2001 中学生のストレス反応尺度開発 高知大
 学教育学部研究報告, 61, 36-40.
- 7) Lazarus,R.S. 1993 From Psychological stress to the Emotion : A History of Changing Outlooks. Annual Review of

Psychology, 44, 1 -22.

- 8) Smith, R, H. & Kim, S, H. 2007 Comprehending Envy. Psychological Bulletin, 133, 1, 46-64.
- 9) 斉藤浩一 2010情動としての「妬み」の検証とメタ認知療法末 東京情報大学研究論集, 13, 2, 29-39.
- 10) 斉藤浩一2000 学校ストレスへのシステム的アプローチ 風間書房
- 11) 押見輝男 2015 社会的排斥についての研究ノート(Ⅲ)
 情動および情動制御の実態– 立教大学心理学研究, 57,87-99.

日本大学工学部紀要		第58巻第1号
平 成 28 年 9 月 20 日 平 成 28 年 9 月 25 日	印刷発行	非売品
編 発 。	i 集 兼 答 行 者 〒963-8642 ⟨e-mail addr	日本大学工学部工学研究所 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 Tel. (024) 956-8648 cess〉 kenkyu@ao.ce.nihon-u.ac.jp
丘 	〕刷 者 〒963-0724	共 栄 印 刷 株 式 会 社 福島県郡山市田村町上行合字西川原7-5 Tel. (024) 943-0001代



JOURNAL OF THE COLLEGE OF ENGINEERING NIHON UNIVERSITY Vol. LVII, No. 1, 2016 CONTENTS

ENGINEERING

GENERAL STUDIES

Influence that emotion acknowledgment exerts on life satisfaction rating and thanks mind	
	(23)